

ac.
FF

United States
Department of
Agriculture

Forest Service



International Institute
of Tropical Forestry

ANNUAL LETTER

1996-97



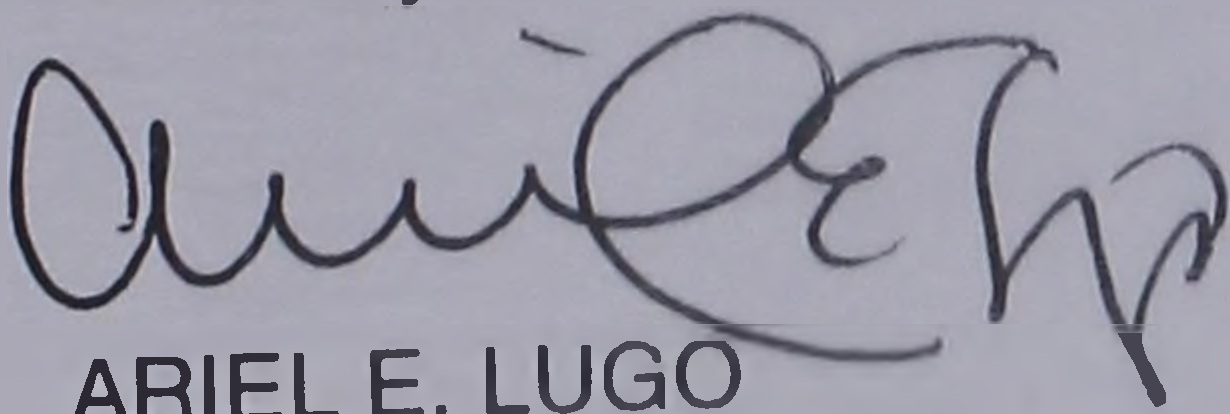
International Institute of Tropical Forestry
PO Box 25000
Río Piedras, PR 00928-5000

Dear Colleague:

Enclosed you will find the Institute's 1996-1997 Annual Letter. The Annual Letter summarizes the activities of the Institute during the fiscal year. In this Annual Letter we made a special effort to showcase all the Institute programs as opposed to the traditional focus on the results of the research program—which continue to be included. We also present a summary of Institute activities and the traditional list of available publications for both exchange with other individuals and organizations, and for our customers with interest in the tropical forestry literature. We also publish the Annual Letter in both English and Spanish.

I hope you enjoy this publication and please keep in touch with us regarding your own research and conservation activities in the tropics.

Sincerely,

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Ariel E. Lugo', with a stylized flourish at the end.

ARIEL E. LUGO
Director

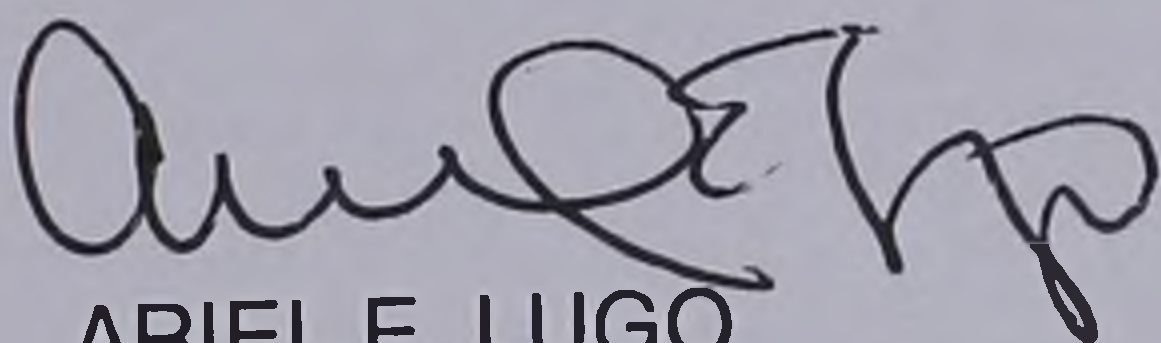
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical
PO Box 25000
Río Piedras, PR 00928-5000

Estimados Colegas:

Esta es la Carta Anual del Instituto para el año fiscal 1996-1997. La misma resume las actividades del Instituto durante el año fiscal. En esta ocasión hemos hecho un esfuerzo para reportar el progreso de todos los programas del Instituto en vez de solamente reportar los avances en las investigaciones científicas—las cuales también reportamos. También presentamos un resumen de las actividades del Instituto y la lista tradicional de las publicaciones disponibles al público. Estas publicaciones nos permiten intercambiar trabajos de investigación con individuos y organizaciones que llevan a cabo investigaciones científicas en los bosques tropicales o las hacemos disponibles a nuestros clientes interesados en los avances en el campo de la dasonomía tropical. Además, publicamos la Carta Anual tanto en inglés como en español.

Espero que disfruten de esta publicación y por favor mantengansen en comunicación con nosotros para que nos informen de sus actividades de investigación y conservación en los trópicos.

Cordialmente,



ARIEL E. LUGO
Director

ANNUAL LETTER

1996-97

INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL FORESTRY
RÍO PIEDRAS, PUERTO RICO

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
FOREST SERVICE

INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL FORESTRY ANNUAL LETTER

1996-97
Contents

	Page
Introduction	1
Ecological Research <i>Ariel E. Lugo</i>	6
Historical Perspective <i>Carlos M. Domínguez</i>	14
Special Studies <i>Frank H. Wadsworth</i>	15
Watershed Research <i>Fred N. Scatena</i>	17
Gaseous Nitrogen Oxide Emissions and Nitrogen Cycling in Wet and Dry Tropical Forests is in Puerto Rico - Land Use and Tree Species Make a Difference! <i>Heather Erickson, Michael Keller, Carlos Rubén Ortiz, María Rivera, and Brynne Bryan</i>	22
Forest Rehabilitation Research in Brazil <i>John A. Parrotta and O.H. Knowles</i>	23
Wildlife Research <i>Joseph M. Wunderle, Jr.</i>	27
Entomological Studies <i>Juan A. Torres</i>	31
Induction of Flowering and Fruiting in <i>Styrax portoricensis</i>, a Rare Endemic Tree of Puerto Rico <i>Juan Ramírez, Carlos Estrada, and John Parrotta</i>	32
The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia <i>Michael Keller</i>	35
Research and International Cooperation <i>Peter L. Weaver</i>	38
State and Private Forestry <i>Robin Morgan</i>	40
Long-Term Avian Research <i>Wayne J. Arendt</i>	44
The Growth Form of dry Forest Trees <i>Brian K. Dunphy, Peter G. Murphy, and Ariel E. Lugo</i>	52

Pringle Lab Group <i>C. Pringle, J. Benstead, and J. March</i>	56
Chemical and Physical Controls on Surface Nitrous Oxide Fluxes Over the Course of Storm Events in the Río Icacos Basin <i>Claire P. McSwiney</i>	61
Regeneration Dynamics of Mahogany Plantations Following Disturbance in a Subtropical Wet Forest, Puerto Rico <i>Hsiang-hua Wang</i>	63
The Ecological Status of Dry Forest Fragments <i>Ian Ramjohn, Peter G. Murphy, Thomas M. Burton, and Ariel E. Lugo</i>	66
Hydrological Processes and Modeling in a Tropical Island Setting <i>J. Schellekens</i>	71
Losses of Nutrients via Hydrologic Flowpaths Along a Soil Textural Gradient in the Tapajós National Forest, Amazon Basin, Brazil <i>J.C. Neff and P.M. Vitousek</i>	72
Effects of Road Construction on the Composition and Succession of a Subtropical Cloud Forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico <i>Lydia P. Olander</i>	73
Hydrometeorological Impact of Meso-Scale Land Cover Transformation Under Tropical Maritime Conditions <i>Michiel K. Van der Molen and Hans F. Vugts</i>	74
Benthic Community Response to Introduced Bamboos in the Luquillo Experimental Forest <i>Paul J. O'Connor, A.P. Covich, and Fred N. Scatena</i>	79
Luquillo Long-Term Ecological Research <i>Robert B. Waide</i>	82
Forest Dynamics and Soil Characteristics of Mangrove Plantations in the San Juan River Estuary, Venezuela <i>Robert Twilley and Ernesto Medina</i>	87
Appendix 1: (Recent Publications of the International Institute of Tropical Forestry)	95
Versión en Español	118

CARTA ANUAL DEL INSTITUTO INTERNACIONAL DE DASONOMÍA TROPICAL

1996-97
Contenido

	Página
Introducción	119
Investigación ecológica <i>Ariel E. Lugo</i>	124
Perspectiva histórica <i>Carlos M. Domínguez</i>	127
Estudios especiales <i>Frank H. Wadsworth</i>	128
Investigación de cuencas hidrográficas <i>Fred N. Scatena</i>	130
Las emisiones de óxido de nitrógeno gaseoso y el ciclo de nitrógeno en bosque tropical húmedo y seco en Puerto Rico - ¿el uso de terreno y las especies arbóreas hacen la diferencia! <i>Heather Erickson, Michael Keller, Carlos Rubén Ortiz, María Rivera y Brynne Bryan</i>	134
Investigación de rehabilitación de bosques en Brasil <i>John A. Parrotta y O.H. Knowles</i>	135
Investigación de vida silvestre <i>Joseph M. Wunderle, Jr.</i>	137
Estudios entomológicos <i>Juan A. Torres</i>	139
Inducción de florecida y producción de frutos en <i>Styrax portoricensis</i> , un árbol raro endémico de Puerto Rico <i>Juan Ramírez, Carlos Estrada y John Parrotta</i>	140
El experimento de la biósfera-atmósfera a gran escala en la Amazonia <i>Michael Keller</i>	141
Investigación y cooperación internacional <i>Peter L. Weaver</i>	144
Silvicultura estatal y privada <i>Robin Morgan</i>	146
Investigaciones de aves a largo plazo <i>Wayne J. Arendt</i>	151
La forma de crecimiento de árboles del bosque seco <i>Brian K. Dunphy, Peter G. Murphy y Ariel E. Lugo</i>	155

Grupo de laboratorio Pringle <i>C. Pringle, J. Benstead y J. March</i>	157
Controles químicos y físicos sobre flujos de óxido nitroso en el transcurso de eventos de tormentas en la cuenca del Río Icacos <i>Claire P. McSwiney</i>	161
Dinámicas de regeneración de plantaciones de caoba seguidos de disturbios en un bosque húmedo subtropical, Puerto Rico <i>Hsiang-hua Wang</i>	163
El estado ecológico de fragmentos de bosque tropical seco <i>Ian Ramjohn, Peter G. Murphy, Thomas M. Burton y Ariel E. Lugo</i>	165
Procesos hidrológicos y modelamiento en el marco de una Isla tropical <i>J. Schellekens</i>	167
Pérdida de nutrientes por vías de flujo hidrológicas a lo largo de un gradiente de textura del suelo en el Bosque Nacional Tapajós, Cuenca del Amazonas, Brasil <i>J.C. Neff y P.M. Vitousek</i>	168
Efectos de construcción de carreteras en la composición y sucesión -de un bosque nublado subtropical en el Bosque Experimental de Luquillo, Puerto Rico <i>Lydia P. Olander</i>	169
Impacto hidrometeorológico de la transformación de la cobertura de terrenos a meso-escala bajo condiciones marítimas tropicales <i>Michael K. Van der Molen y Hans F. Vugts</i>	170
Respuesta de la comunidad béntica a la introducción de bambú en el Bosque Experimental de Luquillo <i>Paul J. O'Connor, A.P. Covich y Fred N. Scatena</i>	173
Investigación ecológica a largo plazo en Luquillo <i>Robert B. Waide</i>	176
Dinámicas forestales y características del suelo de las plantaciones de mangle en el estuario del Río San Juan, Venezuela <i>Robert Twilley y Ernesto Medina</i>	180
Apéndice 1: (Publicaciones recientes del Intituto Internacional de Dasonomía Tropical)	95

INTRODUCTION

The International Institute of Tropical Forestry (IITF) is part of the United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service. Located in Río Piedras, Puerto Rico, the institute was founded in 1939 as a research center for tropical forestry dedicated to both domestic and international levels. Within the Forest Service's mission of *caring for the land and serving people*, the IITF's mission is to *develop and exchange knowledge critical to sustaining tropical ecosystem benefits for humankind*.

RESEARCH

At the core of the institute is its research program, which focuses on american tropical forests. The program is enhanced by a laboratory with facilities for chemical analyses of soils and water; a Technical Information Center that features books, journals, and other relevant literature on tropical forestry and distributes IITF publications; the Luquillo Experimental Forest (LEF) and a network of the oldest tree-growth plots in the hemisphere; and a Global Information Systems/Global Positioning System Laboratory. The research program develops and disseminates scientifically derived knowledge that contributes to the sustainable use of forest resources, the rehabilitation of degraded lands, and the management and conservation of tropical forests, wildlife, and watersheds. The main areas of emphasis, with projects in progress, are:

- I. Forest Monitoring, Management, and Rehabilitation
Projects:
Tropical Forest Dynamics – Long-Term Monitoring
Silvics of Tropical Forest Trees
Conservation Management – Collaboration with NGO's
Mahogany – Silviculture, Conservation, and Management
Tropical Forest Rehabilitation and Restoration

- II. Ecosystem Research

Projects:
Green House Gases Exchange and Global Change
Long-Term Ecological Research
Watershed and Riparian Management

- III. Wildlife Research

Projects:
Long-Term Population Biology of the Pearly-Eyed Thrasher
Long-Term Population Studies of Birds in Guánica Dry Forest
Effects of Hurricanes on Wildlife
Habitat Distribution and Overwintering of Neo-Tropical Migrant Birds

For more information on specific details of the research program you can access our Web site at: www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html. Instructions for ordering recent IITF publications, as well as an ordering form with accompanying publications list, are available within this volume of the Annual Letter.

DOMESTIC PROGRAMS

The State and Private Forestry Program is the domestic level tropical forestry emphasis program for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, providing technical assistance within this framework. The primary partners are the Department of Natural and Environmental Resources (DNER) in Puerto Rico and the Department of Agriculture in the U.S. Virgin Islands. State and private forestry manages about 33 active grants involving \$1.2 million in cooperators' funds and \$1.4 million in Forest Service funds. These agreements focus on technical assistance, technology transfer, and training. The programs implemented in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands can be divided into five broad categories:

- I. Urban and Community Forestry
- II. Rural Landowner Assistance
- III. Economic Action

- IV. Forest Health
- V. Cooperative Fire

For more information on specific details of the program you can access our Web site at: www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html.

INTERNATIONAL PROGRAMS

The International Cooperation Unit at the IITF serves as a base for Latin American and United States managers and researchers to work cooperatively. The unit uses research information from IITF as well as the land management skills of the National Forest System, especially the Caribbean National Forest, to provide technical information and tools for technology transfer and outreach.

The U.S. Department of Agriculture, Forest Service and United States Agency for International Developments (USAID) fund the program. The International Cooperation Specialist provides information in areas such as ecosystem management, silviculture, forest utilization, management of parks and protected areas, and other fields of renewable resource management. These programs contribute directly to the international cooperation mission of the IITF which is to *exchange knowledge critical to sustainability of tropical ecosystems and their contribution to humankind through demonstration, training, science, exchange, and technology transfer*.

Clients of IITF include international agencies such as Food and Agriculture Organization (FAO), government and non-government organizations, and private entities. New information and experiences are generated through research projects, technical assistance, visitation to the IITF, and cooperation with other agencies. Program managers participate in the selection of projects and are involved in their planning, execution, monitoring, and assessment.

LUQUILLO EXPERIMENTAL FOREST

The LEF is located in the rugged Sierra de Luquillo Mountains, 25 miles southeast of San Juan, Puerto Rico. It is the only tropical forest administered by the USDA Forest Service.

The forest contains 27,890 acres with elevations ranging from 100 to 3,533 feet above sea level. The climate is tropical. Average annual rainfall over the forest is 120 inches per year. Topography is rugged, with 24 percent of the forest exhibiting 60 percent slopes or steeper.

The LEF has long served as a site for research conducted by scientists of the Forest Service, the University of Puerto Rico, and from around the world. It is uniquely suited to research on tropical forests and their management. Because of its wide elevation and precipitation range, five life zones occur within this small forest. These life zones are representative of more than one-third of the forested lands of the American tropics; tree species occur in the forest that grow elsewhere in tropical America. Access and facilitates are as favorable for tropical forestry research in the LEF as anywhere else in the hemisphere.

CARIBBEAN NATIONAL FOREST

The Caribbean National Forest (CNF), known as El Yunque, is the only tropical forest in the USDA Forest Service National Forest System. It was set aside by the Spanish Crown in 1876 to put an end to exploitation fueled by the expanding population that laid waste its lands. In 1903, it was placed under the guardianship of the USDA Forest Service. From 1931 to 1978, an intense reforestation process led to the restoration of more than 10,000 acres of forest land. In 1976, El Yunque was named a United Nations Man and the Biosphere Reserve. At present, the forest is managed mostly for recreation, wildlife habitat, research, and watersheds.

After 70 years of continuous tropical research and management aimed at maintaining a healthy and productive forest, El Yunque has become one of the best managed forests in the world. Its success story of conservation and good management contributes toward the worldwide tropical forest conservation drive. The new visitor center, "El Portal Tropical Forest Center", represents the Forest Service's commitment to this challenge.

ADMINISTRATION

The Administrative Unit provides administrative support to both the IITF and the CNF. This unit is responsible for compliance with laws and regulations of the Federal Government and agreements with cooperators. The unit is also responsible for developing and managing the budget; offering fiscal accounting and support services; controlling property and equipment; managing the organizational and safety and health plans; managing the motor vehicle fleet; and all functions related to human resources and human resource programs. The various functional areas of the unit are:

- I. Personnel
- II. Procurement
- III. Engineering
- IV. Finances
- V. Information Systems

IITF HUMAN RESOURCES FOR 1996-97

The following are IITF employees for the period of October 1, 1996, through September 30, 1997:

Director's Office

Dr. Ariel E. Lugo
Mildred Alayón
Lia Sánchez

Director
Secretary
Office Automation
Clerk

Research

William G. Edwards

Acting Assistant
Director for Research

Janet Rivera
Salvador Alemañy
Dr. Wayne Arendt

Brynne Bryan

Angel Colón
Roberto Díaz

Carlos Estrada
Julio Figueroa

Morris Ford
Dr. John Francis

Andrés García

Zobeyda García
Julie Hernández
Luis Iglesias
Dr. Michael Keller
Edwin López
Carmen M. Marrero
Javier Mercado
Jorge Morales

Samuel Moya
Evelyn Pagán
Dr. John Parrotta

Juan Ramírez

Olga Ramos

Nelson Repollet
Gisel Reyes

María Rivera

Alberto Rodríguez

Carlos Rodríguez

Secretary
Forester
Wildlife Biologist –
Pearly-eyed Thrasher,
Birds Guánica
Biological Science
Technician
Forestry Aid
Biological Science
Technician
Forestry Technician
Research Ecologist –
Mahogany –
Conservation and
Management
Biological Technician
Research Forester –
Silvics of Tropical
Forest Trees
Hydrologic Techni-
cian
Clerk Typist
Clerk Typist
Clerk
Physical Scientist
Chemist
Chemist
Biological Science Aid
Technical Information
Specialist
Biological Technician
Library Technician
Research Scientist –
Tropical Forest Reha-
bilitation
Biological Science
Technician
Biological Science
Technician – GIS/
GPS Lab
Biological Technician
Technical Information
Specialist, Head
Biological Sciences
Technician
Biological Science
Technician
Ecologist – GIS/
GPS Lab

Mildred Román	Editorial Assistant
Ivelisse Ruiz	Biological Science Technician
Myriam Salgado	Biological Science Technician
Mary Jeane Sánchez	Chemist
Maribelis Santiago	Biological Science Technician
Dr. Fred Scatena	Hydrologist – Watershed and Riparian Management
Esteban Terranova	Biological Science Technician (FPL)
Carlos Torrens	Biological Aid
Iván Vicéns	Biological Science Technician
Dr. Sheila Ward	Research Ecologist
Dr. Peter Weaver	Research Forester – Tropical Forest Dynamics
Dr. Joseph Wunderle	Wildlife Biologist – Hurricanes, Neo-Tropical Migrants

State and Private Forestry

Robin Morgan	State and Private Forestry Coordinator
--------------	--

International Cooperation

William G. Edwards	Assistant Director
Agnes Alejandro	Secretary
Gerald Bauer	Natural Resources Officer – USAID (Nicaragua)
Carlos M. Domínguez	Historian
Dr. Frank Wadsworth	Research Forester
Carleen Yocum	Cooperative Forestry Specialist

Administration

María Correa	Operations Team Leader
Brunilda Carrión	Mail and File Assistant
María Cruz	Information Receptionist

Blanca Díaz	Information Systems Manager
Delia Gómez	Accounting Technician
José González	Telecommunications Specialist
Ismael Guzmán	Support Service Specialist
Elizabeth Hernández	Personnel Specialist
Aixa Mojica	Personnel Clerk
Ramón Hernández	Maintenance
Camille Loubriel	Accounting Technician
Wanda Marrero	Personnel Officer
Ivette Martínez	Accountant
Yolanda Padilla	Office Automation Clerk
Edwin Pagán-Flecha	Contract Specialist
José Puente	Budget and Accounting Officer
Guadalupe Torres	Property and Supply Technician
Luis Vias	Engineering Technician
Juan Vissepó	Civil Engineer

SENIOR COMMUNITY SERVICE EMPLOYMENT PROGRAM

The IITF hosted the Senior Community Service Employment Program (SCSEP) for another year with great success. All allocated funds from the Department of Labor were used, and 24 enrollees aged 55 and over have benefited from the experience. Likewise, the IITF has gained from their expertise on a variety of tasks. The enrollees provide assistance in interpretative services, grounds-keeping, maintenance, and diverse, office-related jobs. They are an enthusiastic group and are held in high esteem by Forest Service employees.

VOLUNTEER PROGRAM

The IITF has a vigorous volunteer program. Over the course of the year, the IITF has hosted volunteers under the Research Program as field technicians, in research conducive to obtaining a degree in a major field of science, in data

entry, and in other meaningful tasks. Worth mentioning was sponsoring three Worcester Polytechnic Institute students (Worcester, Massachusetts) students who created the IITF home page. Volunteers have also been successfully assigned to assist in other missions and, in return, have gained valuable skills.

UPCOMING EVENTS

The following is a preview of upcoming IITF activities. It is intended for information purposes only; actual scheduling of projects may vary.

- Publication of "Forest Production in Latin America" by Dr. Frank H. Wadsworth. This is the result of more than 10 years of document reviews along with the author's 50 years plus of experience working in tropical forestry.
- Publication of "Panorama de la Historia Forestal de Puerto Rico" by Carlos M. Domínguez. This publication focuses on forest history in Puerto Rico in the past century with an overview of the twentieth century, including numerous tables and photographs.
- Publication of "Big-Leaf Mahogany: Genetic Resources, Ecology, and Management", edited by Julio Figueroa-Colón. This

publication, based on a symposium sponsored by the Institute, will include more than 25 papers by scientists from around the world.

- Celebration of the Ninth Caribbean Foresters Meeting in July 1998. The Caribbean Foresters hold meetings on topics of regional significance every 2 years. Proceedings are published and distributed throughout the region and other areas.
- Celebration of the institute's Sixtieth Anniversary. A full program of research sessions, field trips, and other activities to commemorate this anniversary will take place in May 1999.

Please direct your requests for additional information or address your comments and concerns to:

Mail: IITF USDA Forest Service
Attn: (Person's Name)
PO Box 25,000
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

Telephone: (787) 766-5335

Fax: (787) 766-6302

or visit our Web site at:

www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html

ECOLOGICAL RESEARCH

Ariel E. Lugo
Ecologist

RESPONSE OF FORESTS AND PLANTATIONS TO HURRICANE HUGO

I studied the rates of tree mortality of tropical forests with F.N. Scatena (Lugo and Scatena 1996). The process of tree mortality has dimensions of intensity, spatial patterns, and temporal scales (table 1) that reflect the characteristics of endogenic processes, i.e., senescence, and

exogenic disturbances, i.e., severity, frequency, duration, spatial scale, and points of interaction with the ecosystem. Tree mortality events expressed as percent of stems or biomass per unit area range in intensity from background (<5 percent yr⁻¹) to catastrophic (>5 percent yr⁻¹) (fig. 1), in spatial scale from local to massive, and in temporal scale from gradual to sudden (hours to weeks). Absolute annual rates

Table 1. –Four aspects of the tree mortality process described by any combination of intensity, spatial, and temporal characteristics.

Causes of tree mortality

- 1.1. Endogenic^a
 - 1.1.1. senescence
 - 1.1.2. intraspecific competition
- 1.2. Exogenic
 - 1.2.1. toxic–air pollution, oil spills
 - 1.2.2. interspecific competition
 - 1.2.3. environmental change–climate change, sea level change
 - 1.2.4. natural disturbances–hurricanes, land-slides
 - 1.2.5. anthropogenic disturbances
 - 1.2.6. disease, parasites

Intensity of tree mortality events

- 2.1. Catastrophic (>5% mortality per year)
- 2.2. Background (<5% mortality per year)

Spatial patterns of tree mortality events

- 3.1. Within stand
 - 3.1.1. individual trees
 - 3.1.1.1. top down
 - 3.1.1.2. bottom up
 - 3.1.2. stand level
 - 3.1.2.1. waves
 - 3.1.2.2. clusters
 - 3.1.2.3. scramble

- 3.2. Landscape
 - 3.2.1. local
 - 3.2.2. extensive or massive

Temporal patterns of tree mortality events

- 4.1. Sudden
- 4.2. Gradual or delayed
- 4.3. Episodic

^aEndogenic means within individuals of the same population; exogenic means external to the individuals of the population under consideration.

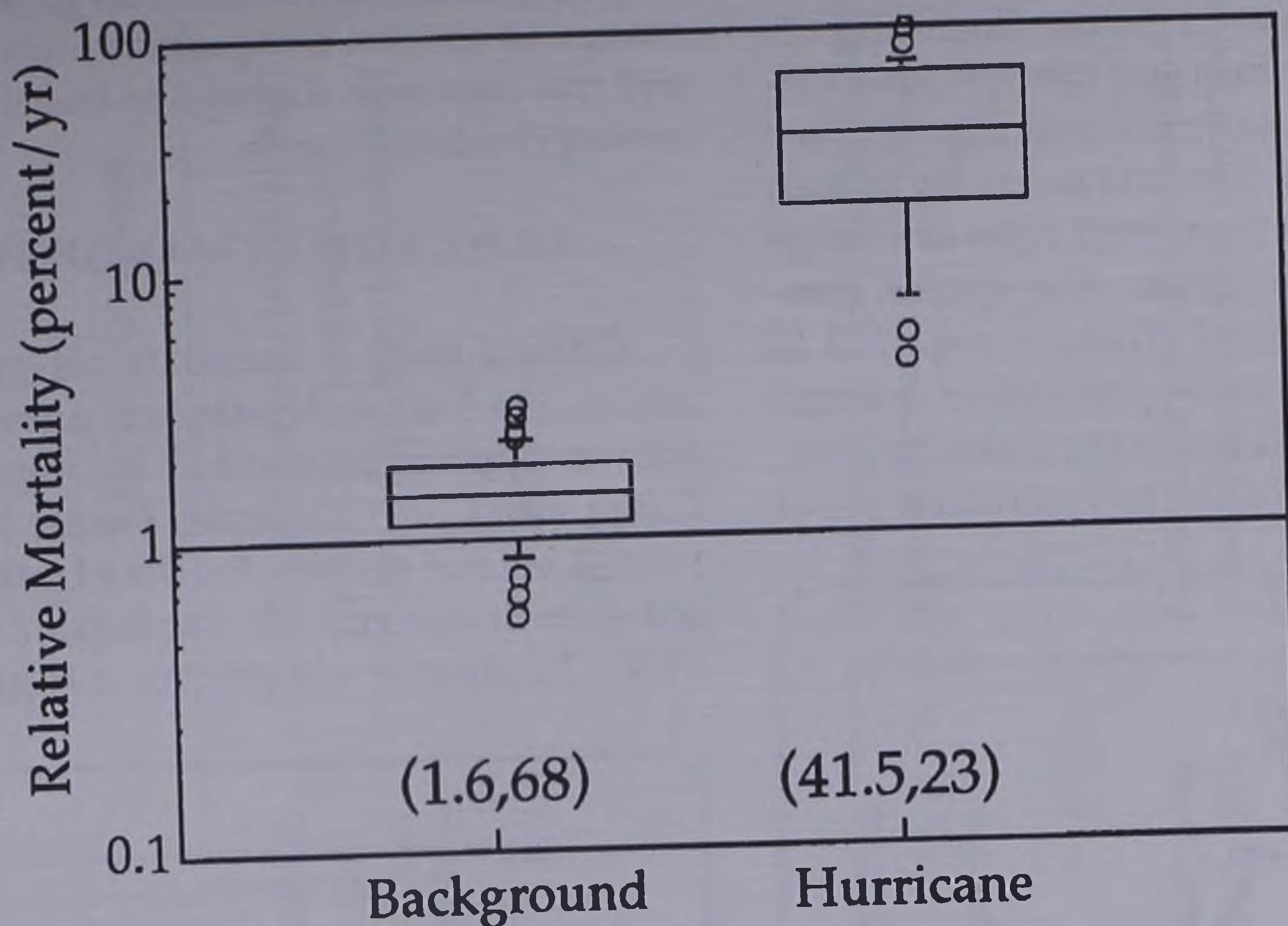


Figure 1. —Comparison of relative rates of tree mortality as a result of background and catastrophic tree mortality events. The box encompasses the 25th through 75th percentiles and has horizontal lines for the 10th, 50th, and 90th percentiles. The numerical value for the 50th percentile and the number of samples are shown in parenthesis. Circles are data outside the 10th and 90th percentiles. Data sources for background rates are the same as those in fig. 1. For catastrophic mortality rates, the data sources are: Lugo and others 1983, Dittus 1985b, Woods 1989, Bellingham 1991, Frangi and Lugo 1991, Walker 1991, Whigham and others 1991, Smith and others 1994, and Zimmerman and others 1994.

of background tree mortality (biomass or stem $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) can vary depending on stand conditions but tend to increase with stem density. The ecological effects of a catastrophic, massive, and sudden tree mortality event contrast with those of background, local, and gradual tree mortality in terms of the direction of succession after the event, community dynamics, nutrient cycling, and possibly selection on trees. When standardized for the return frequency of disturbance events, area, and topography, the ranking of tree mortality events ($\text{trees ha}^{-1} \text{century}^{-1}$) in the Luquillo Experimental Forest is: background > hurricanes > individual tree-fall gaps > landslides. Estimates of vegetation turnover rates require long-term and spatial analysis to yield accurate results.

With Fu and Rodríguez Pedraza (1996), we compared forest structure over a 12-yr period

(1982-1994) that included measurements before and after a severe hurricane in two forests: a 64-yr-old *Swietenia macrophylla* tree plantation and a paired natural forest of similar age in a subtropical wet forest life zone at a 200-m elevation in Puerto Rico. We measured trees ≥ 4 cm in diameter at breast height (d.b.h.), in a 40-m x 50-m plot at each forest type. The natural forest had lower total tree height (8.8 vs. 10.2 m in 1984) and greater basal area (35.7 vs. 28.5 m^2/ha in 1989) and tree density (1,525 vs. 969 trees/ha in 1989) than the plantation. Rates of tree mortality and ingrowth to the ≥ 4 cm - diameter class were higher in the plantation than in the natural forest. Both forest types exhibited the same rate of change in these structural parameters before and after Hurricane Hugo. However, Hurricane Hugo caused a greater reduction in the rate of change of tree density and basal area of the plantation than it did in the

natural forest (fig. 2). After the hurricane, the plantation experienced a greater fluctuation in tree species composition and tree species abundance than did the natural forest (fig. 3). Tree ingrowth was lower than tree mortality in both stands. By 1994, all measured rates of change were at prehurricane levels. The species composition and structural changes required to make the plantation more productive in terms of stemwood biomass appear to make the plantation more vulnerable to hurricane-wind

effects, and this, in turn, causes greater rates of change in species composition, tree mortality, and tree ingrowth during the initial phase following the disturbance.

OLD GROWTH MANGROVES

Criteria used to identify old-growth forests in the Pacific Northwest have not been proven applicable in other ecological zones. (Lugo 1997). For example, Pacific Northwest criteria are not suitable for the identification of old-growth mangrove forests (table 2) and Lugo 1997. To identify old-growth mangroves, one

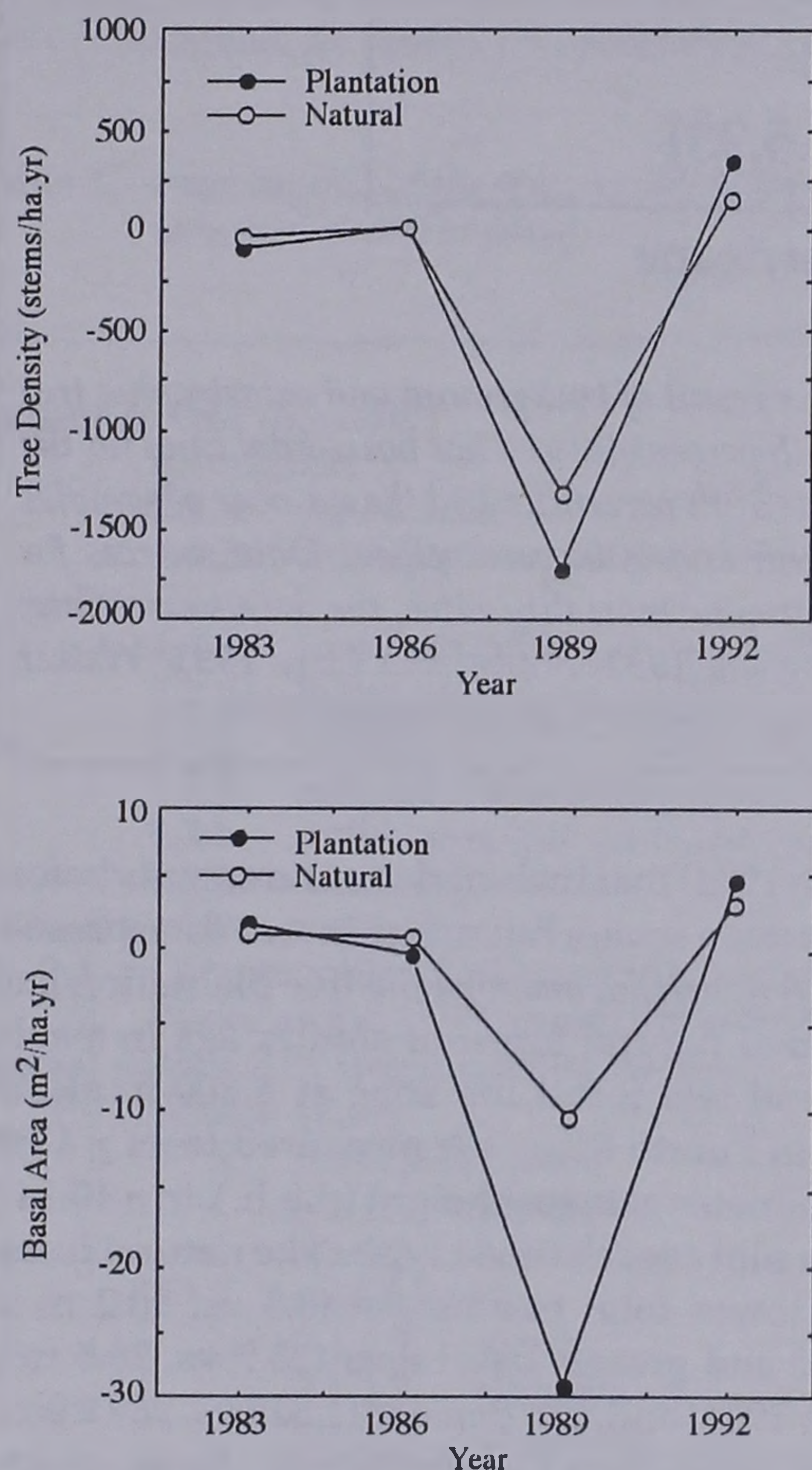


Figure 2. —Rate of change of tree density (a) and basal area (b) from 1982 to 1994 in a tree plantation and a natural forest, in the Luquillo Experimental Forest. Data are for trees with a d.b.h. ≥ 4 cm and are plotted at the midpoint of the measurement-time interval.

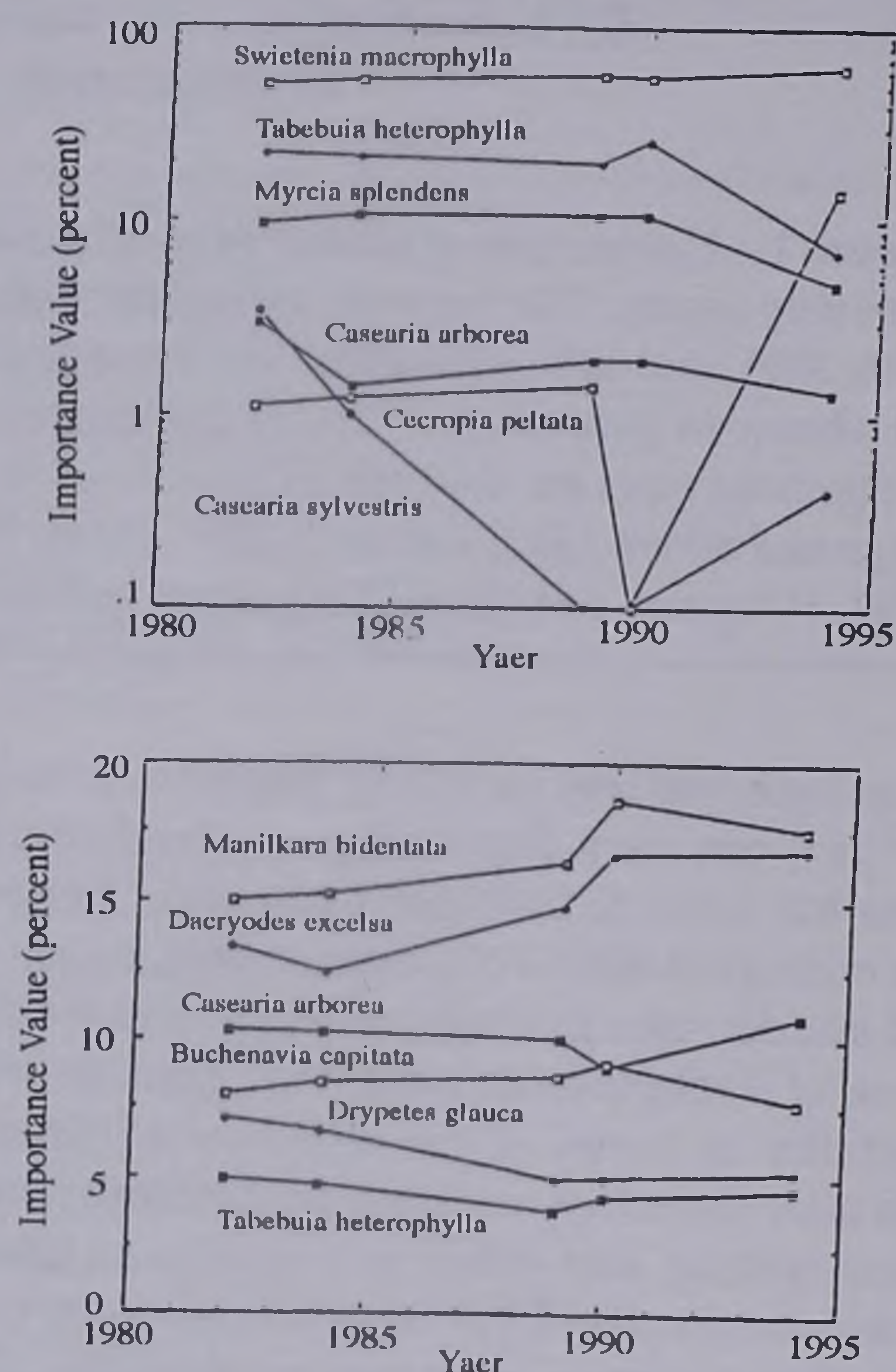


Figure 3. —Changes in the importance value of the six most important species in a plantation (a) and paired natural forest (b) for the period of 1982 to 1994. The log scale for the plantation data (a) is to accommodate rate species that became common after the hurricane. The forest stands were located in the Luquillo Experimental Forest. Data are for trees with a d.b.h. ≥ 4 cm.

Table 2. –Ecosystem attributes likely to be associated with old-growth mangrove forests^a and a comparison with ecosystem attributes of the Pacific Northwest.

Attribute	Mangroves		Pacific Northwest
	Tall stands	Dwarfed stands	
Physiognomy	Orchard-like, scattered; large trees with wide-open spacing; closed canopy, but low overlap of individual tree crowns; canopy gaps may be present	No taller than 2 m and scattered individuals of similar size; open canopy; no overlap of individual crowns; much space between tree crowns	Very tall forest, cathedral-like; closed canopy; multistory; canopy gaps may be present
Dead trees	Occasional	Occasional	Many
Tree size and density	Large trees, low tree density	Small trees, low tree density	Very large trees
Tree physiognomy	Straight bole, tree cavities present, normal branching but some branches can be missing due to age and/or accidents; galls on stems are common	Short main stem, small diameter, multibranched; many leaf scars with short intervals between scars	Straight bole, tree cavities present, normal branching
Substrate	Likely to be old peat; can be firm and with organic mounds that add relief to the forest	Likely to be old peat, but also over rocks; substrate firm and with little relief	Normal forest soils, mounds present; not flooded, but some could be saturated
Biotic interfaces	Can be well developed, e.g., abundance, richness, and structure if epiphyte and epibiont communities	Mostly on the substrate in the form of algal mats	Abundant epiphytes, mostly lower vascular plants

Table 2. –continued

Attribute	Mangroves			Pacific Northwest
	Tall stands	Dwarfed stands		
Understory	Absent	Absent	Present	
Tree physiology	Loss of apical dominance can occur	Peculiar branching pattern	Reduced leaf net photosynthesis	
Regeneration	low, seedlings grow on tree cavities and snags; periodic ground cover by seedlings but little height growth	low, seedlings not common	normal	
Root system	well developed	superficial and aerial	normal root systems	
Vulnerability to change due to natural causes	high	low	low	
Net production	low	low	low	
Nutrient recycling	highly efficient	highly efficient	efficient	

^aNot all old-growth mangroves will have all these attributes, nor does the presence of these attributes assure that the stand is old growth. Determination of old growth in mangroves should be done in the context of a holistic analysis of the stand history and environmental conditions.

has to take into account differences in stand structure and function due to geomorphology, within-site environmental gradients, and regional disturbance regimes. A flexible and holistic approach is needed. Stand age, defined in terms of Pacific Northwest forests, is not necessarily the best criterion for identifying for conservation mangrove forests or any forest outside the Pacific Northwest. No single stand will have all old-growth characteristics, and, even if they are present in a stand, these characteristics do not necessarily assure that the stand is old-growth. Whether a mangrove stand reaches old-growth stage depends on the dynamics of coastal conditions under which it grows. Moreover, it is necessary to differentiate between the age of trees in a stand and the age of the mangrove system, which includes the substrate. Old-growth mangrove stands are improbable states for this ecosystem type, and they can revert to younger stages. Mangroves offer a challenge to the concept of the old-growth forest,

and, through our analysis of this system, we show that when ecosystem functions and states are evaluated, it is necessary to avoid geographic biases based on particular ecological conditions.

CONSERVATION AND LAND USE

We published a call for the conservation of public natural resources to ensure the quality of life in Puerto Rico (Morales Cardona and others 1994). A conservation strategy for the island as it approaches the 21st century (Lugo 1994a, table 3) was suggested. Puerto Rico is small in area and large in human population, and, as a result, its natural areas are small (fig. 4). Moreover, these small natural areas are subject to fragmentation and pressure from within and without the reserve borders (fig. 5). This level of fragmentation raises numerous conservation issues on the island (Lugo 1994b) and justify studies of land use and land-use

Table 3. *—The main steps of a conservation strategy for Puerto Rico as it approaches the 21st century.*

-
- Preserve and enhance, where possible, all critical natural areas, endangered or endemic species or both, the quality of unspoiled water, soil, and air resources, public lands, etc.
 - Increase public awareness of the importance of natural resources for economic health, the role that conservation plays in the equation, and the consequences of resource depletion to the quality of life.
 - Develop public support for those government agencies responsible for the management of natural resources, increase their budgets, their staff, and the quality of their programs.
 - Focus agency activities on halting environmental deterioration, rehabilitating damaged resources, and monitoring and regulating of the use of all natural resources on the island.
 - Increase the level of public dialogue relative to natural resources.
 - Include natural resource conservation in educational reform at all levels of education on the island.
 - Focus research programs on conservation of the natural resource base of the island.
-

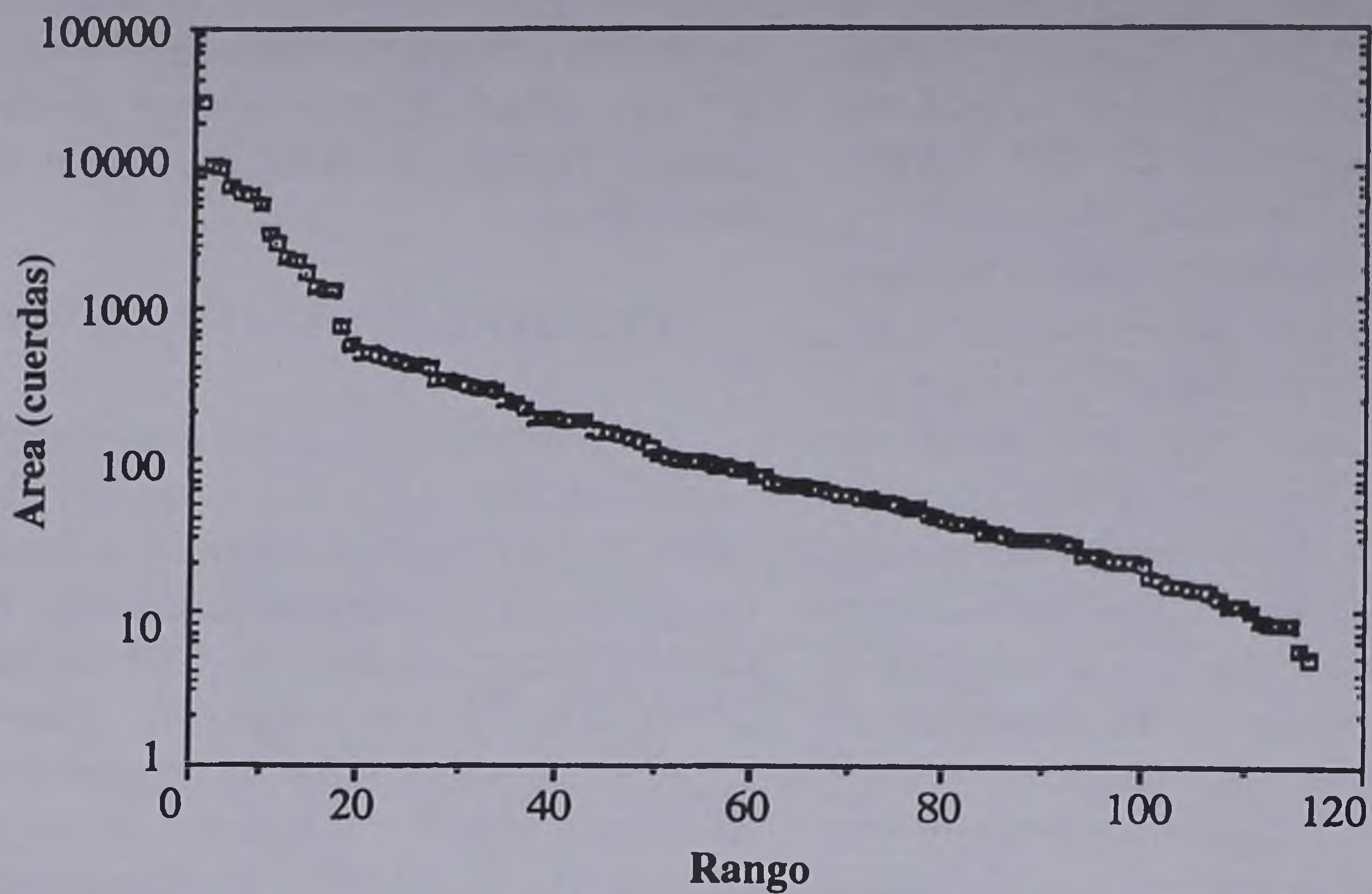


Figure 4. –The graph shows the sad situation of protected areas in Puerto Rico. Due to fragmentation, lack of planning and excessive zeal to convert our public land into marketable products for development, the reserves, forests, refuges and other categories of protected areas that we have on the island are of such small land extension that they are being practically strangled by surrounding development, obstructing their function as places to protect and conserve our flora and fauna and to provide recreation.

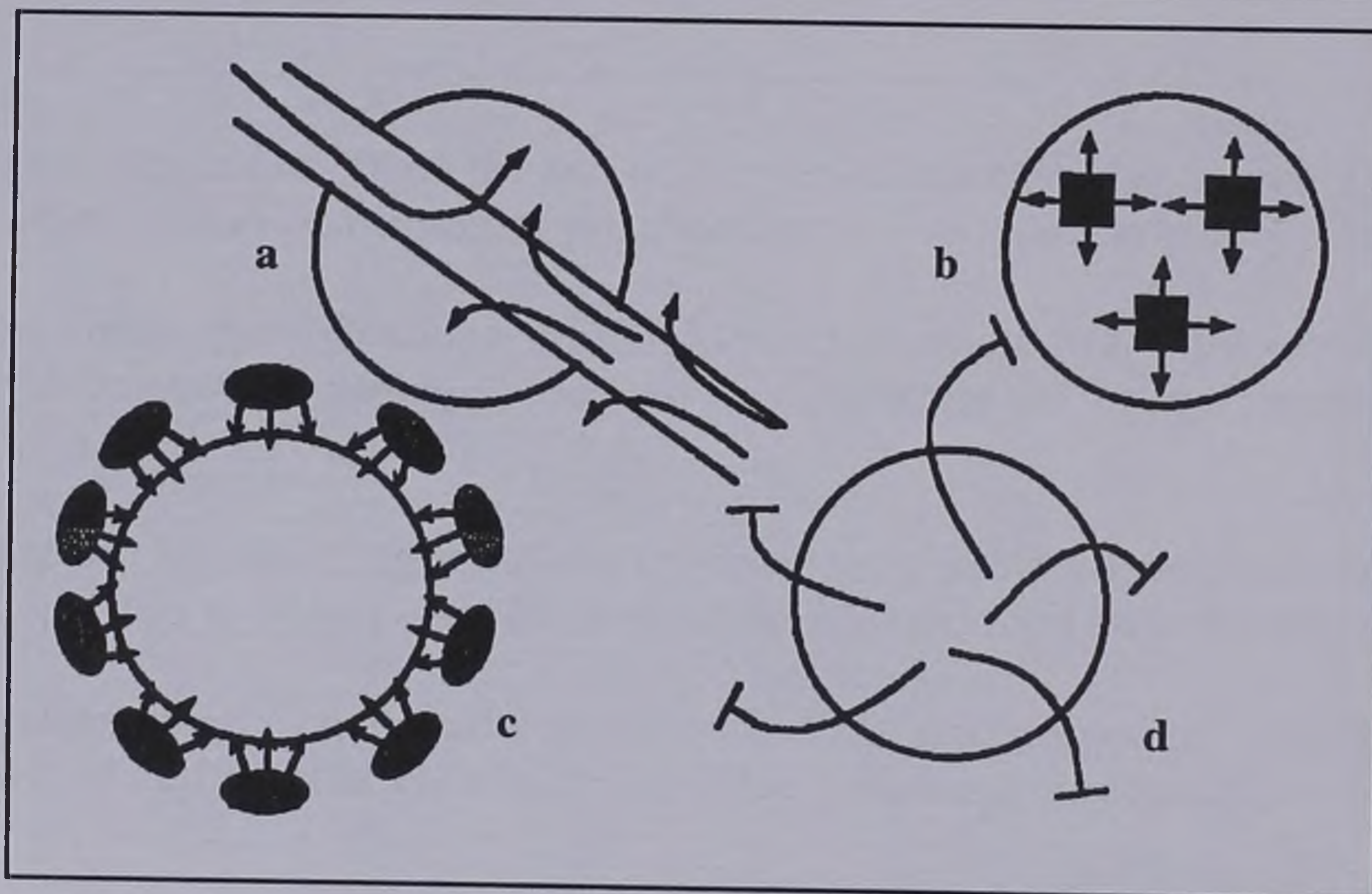


Figure 5. –The circle represents the natural area in these four examples of their fragmentation. The arrows illustrate zones and direction of external influence on natural biodiversity. The examples are: construction of corridors on the natural area (a), development or incompatible uses within the natural area (b), development of intensive use (urban) on the periphery of the natural area (c) and fragmentation of the aquatic systems of the natural area (d). This occurs, in (d), with dam construction illustrated with a horizontal line.

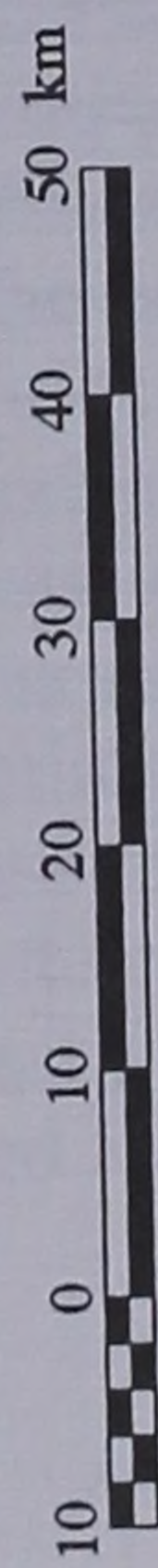


Foto-interpretación aérea, DRNA
 Digitalización, US Geological Survey
 Mapa y cobertura digital, O. Ramos IITF GIS/GPS Lab, 1995

- | | |
|--|------------------------------------|
| | Agricultura |
| | Pastos |
| | Arboleda muy densa |
| | Arboleda densa |
| | Arboleda poco densa |
| | Arbusto y maleza |
| | Manglares |
| | Anegados, salitrales |
| | Áreas rocosas y promontorios |
| | Cuerpos de agua |
| | Desarrollo, tierras no productivas |
| | Sin clasificar |

Figure 6. -Map showing the land uses in Puerto Rico for 1977-78.

change in relation to forest structure and function. We started such a program, and, as part of this effort, we developed a land use map for Puerto Rico (fig. 6). This map depicts land uses in 1978 when the island was in transition from an agricultural land use to an urban land use (Ramos and Lugo 1994).

OTHER INVESTIGATIONS

With Sánchez and López (Sánchez and others 1997), we published the first summary of chemical and physical analyses of selected plants and soils from Puerto Rico. This publication covers results from our analytical lab between 1981 and 1990. We plan to update this publication every 10 years to accumulate a data base on the chemical properties of tropical tissues and soils.

LITERATURE CITED

- Fu, S.; Rodríguez Pedraza, C.; Lugo, A.E. 1996. A twelve-year comparison of stand changes in a mahogany plantation and a paired natural forest of similar age. *Biotropica*. 28(4a): 515-524.
- Lugo, A.E. 1994a. A conservation strategy for Puerto Rico as it approaches the 21st century. *Acta Científica*. 8(3): 129-133.
- Lugo, A.E. 1994b. Terrenos públicos, fragmentación y la biodiversidad de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 31-35.
- Lugo, A.E. 1997. Old-growth mangrove forests in the United States. *Conservation Biology*. 11(1): 11-20.
- Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica*. 28(4a): 585-599.
- Morales Cardona, T.; Ruíz, B.; Lugo, A.E.; Morris, G. 1994. Un llamado a la acción para salvaguardar el patrimonio natural y la calidad de vida en Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 67-70.
- Ramos, O.M.; Lugo, A.E. 1994. Mapa de la vegetación de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 63-66.
- Sánchez, M.J.; López, E.; Lugo, A.E. 1997. Chemical and physical analyses of selected plants and soils from Puerto Rico (1981-1990). U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry Research Note IITF-RN-1. 112 p.

HISTORICAL PERSPECTIVE

Carlos M. Domínguez
Forest Historian

The period between October 1, 1996 to September 30, 1997, represents a journey of special interest and meaning that is recounted in this report. Included are the development of various special activities, publishing of the most articles per year in comparison to previous years, a surge in the "Selection of Municipal Symbols Project" (tree, flower and bird), related community activities, and the development of an inventory of historical or legendary trees of Puerto Rico.

The celebration of the first 100 years of Arbor Day in Puerto Rico in May 1997 provided a much needed stimulus to undertake a greater number of tree-related activities during the year. The most outstanding activities took place in San Juan in cooperation with the Educational and Cultural Commission of the House of Representatives of Puerto Rico and the municipality of Ceiba in cooperation with the Agriculture Extension Service. The project on Selection of Municipal Symbols (tree, flower and bird) was finalized in Orocovis, Canóvanas, Dorado, and Naranjito. Taking into consideration municipal priorities, we've developed or are in the process of developing various related activities. At present, the municipalities of Ceiba, Carolina, Añasco, Gurabo, Ponce, Patillas, Morovis, Yabucoa, Sabana Grande and Caguas are in different stages of the project.

Among the community-related activities, two deserve special mention: the reforestation of an urban recreational park in the town of Ceiba, in cooperation with the Puerto Rico

Conservation Trust, the municipal government of Ceiba, and the Agriculture Extension Service; and reforestation of the grade school of the "Colegio Bautista de Carolina".

Development of an inventory of historical or legendary trees of Puerto Rico received support from many population sectors. The ceiba, *Ceiba pentandra*, is the tree species with the greatest amount of town-related history. This particularity will lead eventually to the publishing of a work on the presence of the ceiba in the history of Puerto Rico.

The cooperative agreement between the U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry and Luis Muñoz Rivera High School of Utuado yielded double success in May 1997. The celebration of the Fourth Science Research Symposium at the Utuado Regional Campus of the University of Puerto Rico provided the foundation for a new level of natural science education and integration in a real and effective manner within other areas of high school education: social studies (history), Spanish and mathematics. On the other hand, recognition of Mrs. Noemí Méndez Irizarry by the Puerto Rico Education Department (Board of Education) with the "Outstanding Teacher Award of 1997" in biology, was a source of great satisfaction, pride, and enthusiasm. Finally, careful assessment of all aspects of the review of the book "*Panorama histórico forestal de Puerto Rico*" [Panorama of Forest History of Puerto Rico] have been evaluated and incorporated.

SPECIAL STUDIES

Frank H. Wadsworth
Research Forester

This function is a combination of tasks that makes the best use of a veteran staff member with broad experience. Located within the International Cooperation Group of the Institute, this work is focused largely on international activities.

INTERNATIONAL ACTIVITIES

Invited to a session in Costa Rica of the World Commission on Forests and Sustainable Development concerning Latin American forest policy formulation, I submitted a 5-page commentary on the proceedings covering the following: the forthcoming hearing in África, policies on forest intervention and sustainability, secondary forest potential, empowerment, corporate activity, research, demonstration, and the merits of a global convention on forestry.

Participating as a member of the Food and Agriculture Organization (FAO) North American Forestry Commission's Silvicultural Study Group, I attended a seminar on integrated pest management in Campeche, México. The group resolved to assign a subgroup, of which I am a member, to spend a week in southeastern México exploring opportunities for research on the natural regeneration of mahogany. Scheduled for December 1997, the activity will include visits to past field experiments, logged-over forests, and institutions such as the Canadian Model Forest in Campeche, governmental research stations, and institutions of advanced education as possible sources of student projects. The group proposes to provide technical support and monitoring.

As a member of the Caribbean Conservation Association, I attended the Annual General Meeting in Barbados. The theme was focused on future program content and included a case study of the impact of gold and

diamond mining on the forests of Suriname. From the discussion came a request for assistance in integrating mining and sustainable forestry, which was answered by sending recent publications from the Institute to the mining interests.

The International Society of Tropical Foresters, an organization centered in Maryland with 2,000 members worldwide, has, for nearly 20 years, depended on the Institute to generate technical content for its trilingual quarterly newsletter. The task calls for a review of all current germane information published or otherwise issued. The institute's library, plus documents received from the central office of the Society, constitutes a unique hub for the screening and selection of appropriate material. During the year, the 4 issues contained 105 items reviewed and summarized, 49 listed and annotated major publications, a book review, and an editorial generated in the Institute.

The institute's international meeting on Mahogany in October 1996 was the occasion for the presentation of a scientific paper on a 60-year-old plantation, its regeneration and growth relative to site and tree size. The paper, to be published in the proceedings, was co-authored by a representative of the forestry division of the Puerto Rico Department of Natural Resources and Environment and by a student of the University of Puerto Rico. As an adjunct to the meeting, I conducted a field trip to the plantation to see the abundant natural regeneration and a 30-year-old plantation of mahogany provenances from throughout Central America.

A paper prepared previously for a Center for International Forestry Research (CIFOR) meeting in Perú on secondary forest management and another for Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),

(Tropical Agronomy Center for Research Education) for International Forestry Research in Costa Rica on liberation treatment of secondary forest were completed for publication. The text of a book for Latin American forestry schools on "Forest Production for Tropical America" was submitted to the printers, and its translation from English to Spanish is underway.

NATIONAL ACTIVITIES

I attended the annual convention of the Society of American Foresters in Albuquerque, New México, and acted as a liaison with the president of the Mexican Society of Foresters during a trip into Sonora. A critique was submitted to the society on the lack of response to the resolution of the recent American Forestry Congress.

Substantive contributions were submitted to the internal Forest Service policy formulation at the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES), Appendix II designation for mahogany, professionalism in science, and research strategy.

LOCAL OUTREACH

Technical text was provided for a Statewide reforestation plan for Puerto Rico in coopera-

tion with the Forestry Division of the Department of Natural Resources and Environment. As a participant on a committee of the Mayagüez Campus at the University of Puerto Rico, I proposed a graduate curriculum for the administration of natural resource management. In cooperation with the Interamerican University, I drafted a statement as a chapter in a forthcoming book on the impact of the United States on science and technology in Puerto Rico during the past century.

I led 4 weekend field training sessions for 20 counsellors in nature subjects preparing for the Boy Scout summer camp and also judged science fairs at both private and public schools in the San Juan area.

RESEARCH

Guidance was provided for a student of the University of Massachusetts in the remeasurement and analysis of the response of the rain forest to silvicultural treatment in the Luquillo Experimental Forest.

The analysis of the 24-year performance of 1,400 trees encompassing 18 rain forest species in response to 18 environmental parameters in the Luquillo Experimental Forest was nearly completed.

WATERSHED RESEARCH

Fred N. Scatena
Hydrologist

The ecology of natural and anthropogenic disturbances continues to be the major focus of the research by the International Institute of Tropical Forestry (IITF) Ecosystem group. During 1997, several new collaborative efforts were initiated while other studies were continued or completed. Completed studies include those on the impact of roads in the Luquillo Experimental Forest (LEF) by Olander and others, in review, Heyne, in review, instream flow requirements for headwater streams in the LEF (Scatena and Johnson 1998), recent land-use change in northeastern Puerto Rico (Ramos, in press), the effects of landuse change on streams in northeastern Puerto Rico (Clark 1997), a one-dimensional hydrological model (Schellekens 1997), and an EMERGY evaluation of the effects of human activity on the Luquillo Experimental Forest (Kharecha 1997). New studies include an extensive study by the Vrije Universiteit of Amsterdam on microclimate changes due to lowland deforestation. This study has resulted in the installation of yet another walk-up climate station. This station was installed in the wetland forest of Sabana Seca Forest in one of the last patches of lowland forest on the north coast of Puerto Rico. As part of a Research Natural Area project sponsored by the U.S. Department of Agriculture, Forest Service, a set of recording thermometers has also been placed on an elevation gradient up the LEF to quantify the change in temperature with elevation. As part of our continuing research in ecosystem management, a series of monitoring sites has been established on the lower Río Mameyes River to quantify the effects of water extraction on the ecology of the rivers that drain the Luquillo Experimental Forest.

In an effort to understand the long-term impact of land-use changes in northeastern Puerto Rico, stratigraphic and geomorphic studies of the streams that drain the LEF have been conducted (Clark 1997). The stratigraphic

studies indicate that sea level rose from the end of the last glacial period until around 3,000 years ago when it stabilized at a level approximately 2 meters above its present level. About 1,500 years ago, sea level began to decrease to its present level. Between 1,500 and 1,830, most of the lowland floodplain forests were cleared, and the water and sediment supplied to the channels increased. This increase in sediment caused the rivers to aggrade their channels. Since the 1950's, reforestation of the area has resulted in a decrease in sediment supply to the area's streams. Consequently, the transport capacity of the streams exceeds the supply of sediment that is currently being delivered, and the streams have begun to redistribute sediment that was deposited during the earlier periods of agricultural erosion. Moreover, the lower reaches of the streams draining the LEF are still adjusting to land-use activities of the last century by changing their size, shape, and geometry (Clark 1997).

In an effort to understand the current effects of human activities and disturbances on the LEF, an EMERGY evaluation of human activities in the forest was completed as part of a continuing collaboration with the University of Florida (Kharecha 1997). The study indicated that anthropogenic structures represent about 6 percent of the EMERGY stored within the LEF. Of all the anthropogenic structures, roads have the largest EMERGY storage. The annual EMERGY of environmental impacts on forest roads was roughly equal to the EMERGY of required inputs for the roads. In contrast, the EMERGY of impacts of water extraction from the forest was about 250 times greater than the EMERGY of inputs. The major effects of water extraction from the forest were the removal of water from streams and the downstream release of treated sewage effluent.

Although Puerto Rico is one of the wettest islands in the Caribbean with the Luquillo area

as the wettest area, lack of adequate water continues to be a chronic problem for the population in the region. Extended periods of low rainfall are common, and, during almost every year, some section of the island suffers drought conditions for varying periods of time. In the past 40 years, 6 severe island-wide droughts have occurred: 1956-57, 1964-65, 1967-68, 1976, 1994, and 1997. Holocene paleoclimatic sequences from Haiti also indicate that the area has experienced numerous dry periods during the past 10,000 years (Hodell and others 1991, Clark 1997). A simulation of the impact of a 1.76 °C global warming on tropical forests indicates that future conditions will be drier in much of the Amazon Basin, and the Caribbean is expected to experience an increase in dry-season length and interannual rainfall variability (Hulme and Viner 1995).

Within the LEF, extended dry periods have been linked to leaf palatability (Lawrence 1996), declines in the populations of Anoline lizards (Reagan 1996), understory spiders (Pfeiffer 1996), and exotic earthworms (Zou and González 1997). Studies also indicate that Luquillo frog densities are well correlated with the number of days with less than 3 mm of rainfall. After 3 days with no rain, 60 percent of the frogs have empty stomachs (Stewart and Woolbright 1996). Short-term drought stress in the LEF can also stimulate microbial biomass growth and enhance microbial nitrogen immobilization (Lodge 1996). In addition to droughts caused by lack of rainfall, stream water diversions, and the construction of dams can create drought-like conditions in streams by changing the magnitude and frequency of stream flow (Pringle and Scatena, in press). To understand the impact of droughts and water diversions on the ecosystem and management of the Luquillo Forest, collaborative research has been initiated with the University of Connecticut to develop predictive models for forecasting the occurrence of droughts in the region. Research on the management of water diversions has also continued. In a recently completed paper, various methods for selecting operating rules for water diversions in the headwater streams of the

Luquillo Experimental Forest were developed and compared by (Scatena and Johnson, in review). This study focused on shrimp as indicator species because of their importance in the aquatic environment in the forest. A brief summary of the study's recommendations follows:

- (1) In first-order streams within the LEF, water withdrawals should be restricted when the average water depth in the deepest pool downstream of the intake is less than 0.5 m, and average channel velocities fall below 0.02 m/s. At discharges below these values, the abundance of shrimp habitat declines rapidly.

- (2) In midelevation, second- and third-order stream reaches within the forest, shrimp migrate headward along the shallow water-channel margins where they are protected from predatory fish. Therefore, water withdrawals and channel protection activities should be designed to maintain the quantity and quality of these habitats.

- (3) To reduce the threat of predation by fish and other organisms, the freshwater shrimp that reside in the LEF are most active at night. Moreover, larval release, feeding activity, and migration as well as in-stream oxygen budgets have well defined diurnal patterns. Therefore, to minimize their impact, water extractions and effluent discharges should be timed to these biological activities and reduced during the early evening.

- (4) Due to the between-stream variation in available habitat and the structure of populations, site-specific surveys must be made when defining operating rules for species intakes.

In an extension of this research, a special effort is being made to determine the ecological impact and ecological-economics of water extraction associated with the Lower Río Mameyes water intake and the Lower Río Espíritu Santo dam. This study will be done in collaboration with the Luquillo LTER program, Utah State University, Colorado State Univer-

sity, and the Universities of New Hampshire, Georgia, and Colorado. Detailed case studies at these sites will be used to:

(a) Quantify environmental changes associated with water extraction with special emphasis on its impact on the estuarine water quality and upstream migration of species.

(b) Evaluate the economic and ecologic costs and benefits of different water extraction designs.

(c) Identify indicator species and processes that can be used to determine the aquatic health of these ecosystems and to monitor or evaluate similar water extraction elsewhere.

(d) Develop and evaluate operational rules to mitigate the impact of these and similar water extractions.

LITERATURE CITED

- Clark, J.J. 1997. Effects of land use change on northeastern Puerto Rican rivers. Baltimore, MD: Johns Hopkins University. 187 p. Ph.D. dissertation.
- Heyne, K. A study of succession along abandoned roads in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Las Vegas, NV: University of Nevada, M.S. Thesis. Manuscript in preparation.
- Hodell, D.A.; Curtis, J.H.; Jones, G.A.; Higuera-Gundy, A.; Brenner, M.; Binford, M.W.; Dorsey, K.T. 1991. Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10,500 years. *Nature*. 352: 790-793.
- Hulme, M.; Viner, D. 1995. A climate change scenario for assessing the impact of climate change on tropical rain forests. World Wildlife Foundation by the Climatic Research Unit, University of East Anglia. 34 p.
- Kharecha, P. 1997. Energy evaluation of the effects of human activities on the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Center for Environmental Policy. Gainesville, FL: University of Florida, Environmental Engineering Sciences. 34 p.
- Lawrence, W.T. 1996. Plants: the food base. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 17-51. Chapter 2.
- Lodge, D.J. 1996. Microorganisms. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 53-108. Chapter 3.
- Olander, L.P.; Scatena, F.N.; Silver, W.L. Effects of road construction on the composition and succession of a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. Manuscript in preparation.
- Pfeiffer, W.J. 1996. Arboreal arachnids. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 247-271. Chapter 7.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1998. Aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. In: Hatch U.; and Swisher, M.E., eds. *Tropical Managed Ecosystems: New Perspectives on Sustainability*. Oxford, UK: Oxford University Press: Chapter 12.
- Ramos, O.M. [In press]. Assessing vegetation changes in northeast PR using remote sensing and GIS.
- Reagan, D.P. 1996. Anoline lizards. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 321-345. Chapter 9.
- Scatena, F.N.; Johnson, S. Instream flow analysis for the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. USDA Technical Report. Manuscript in preparation.

Schellekens, J. 1997. IITF Annual Letter 1996-97.

Stewart, M.M.; Woolbright, L.L. 1996. Amphibians. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. The Food of a Tropical Rain Forest. Chicago, IL: University of Chicago Press: 273-320. Chapter 8.

Zou, X.M.; González, G. 1997. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pastures. Soil Biology and Biochemistry. 29(3-4): 627-629.

REFERENCE

Britton, N.L.; Wilson, P. 1925. Scientific Survey of Porto Rico and Virgin Islands, New York. Published by the Academy Vol. IV, Part I, p. 76.

Holdridge, L.R.C. 1942. Árboles de Puerto Rico, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Tropical Forest Experiment Station, Publicación Núm. 1, Vol. 1. p. 79.

Liogier, H.A. 1995. Descriptive Flora of Puerto Rico and Adjacent Island, Editorial de la Universidad de Puerto Rico. Vol. IV, p. 163.

Lioger, H.A.; and Martorell, L.F. 1982. Flora of Puerto Rico and Adjacent Islands: A Systematic Synopsis, Editorial de la Universidad de Puerto Rico, p. 137.

Little, Jr. E.L.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1988. Árboles de Puerto Rico y las Islas Vírgenes, Agriculture Handbook No. 449-S, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. 20013-6090, Vol. II, p. 910-911.

Marzocca Angel. 1985. Nociones Básicas de Taxonomía Vegetal, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.

Roldán G.; Velázquez, L.F.; Machado, F. 1984. Biología Integrada, los seres vivos y su ambiente. Serie Conservemos el ambiente, Carvajal S.A. Colombia, Editorial Norma, pages. 22-23.

Urban, Ignatius. 1903-1911. Sympbolae Antillanae Seu Fundamenta Florael Indiae Occidentalis, Lipsiae Fratres Borntraener, Vol. IV, p. 487.

GASEOUS NITROGEN OXIDE EMISSIONS AND NITROGEN CYCLING IN WET AND DRY TROPICAL FORESTS IN PUERTO RICO - LAND USE AND TREE SPECIES MAKE A DIFFERENCE!

*Heather Erickson, Michael Keller, Carlos Rubén Ortiz, María Rivera, and Brynne Bryan
Volunteer, Research Scientist, Student, Biological Technician and Biological Technician*

Tropical forests are among the largest natural sources of the globally important nitrogen (N) oxide gases: nitrous oxide (N₂O) and nitric oxide (NO). We know that emissions of these gases vary greatly according to climate, land-use, and soil type, but we know little about the exact magnitudes of fluxes from specific locations, nor how the emissions vary as the factors affecting them change. Accordingly, we sampled N₂O and NO fluxes and measured several indices of N-cycling rates across gradients of rainfall, soil fertility, and land-use for several years in Puerto Rico. We sampled active pastures, abandoned pastures, successional forests, and old forests near the humid Luquillo Experimental Forest (El Yunque) and successional forests and old forests within the dry Guánica State Forest. We also sampled a fertilized and non-fertilized forest at El Verde near El Yunque. Across all sites, fluxes of N oxides were positively related to soil nitrate concentrations, rates of net mineralization, and

nitrification. With N fertilization in humid forests, fluxes of N₂O and NO increased to more than 20 times above the relatively low background emissions ($< 1 \text{ ng N/cm}^2/\text{h}$) in the old forest at El Verde. These results support the hypothesis that high rates of soil-N cycling yield the considerable production of N oxides measured from many tropical soils. The amount of N in tree litterfall was also related to emissions of these gases. N oxide fluxes and rates of N cycling were highest in successional forests, wet or dry, that had high inputs of litterfall N. These "hot" successional forests had a relatively large proportion of leguminous tree species in the canopy, which suggests that anthropogenic alterations of forest communities may contribute to increased N oxide emissions. Moreover, while leguminous tree species cover may be increasing, such as in Puerto Rico, elsewhere in the Caribbean there is a strong likelihood that N oxide emissions have recently increased.

FOREST REHABILITATION RESEARCH IN BRAZIL

John A. Parrotta
International Institute of Tropical Forestry
and

O.H. Knowles
EKO Consultaria Meio Ambiente,
Porto Trombetas, Pará, Brazil

Tropical forest restoration on severely degraded sites such as mined lands is a formidable challenge requiring a synthesis of the best available silvicultural and ecological knowledge. Reforestation options differ in their costs of implementation and management and their effectiveness for restoring lost ecological functions, forest structure, and biodiversity. Since 1979, a Brazilian mining company (Mineração Rio do Norte) has utilized a number of different reforestation techniques using mostly native primary forest tree species to restore approximately 80-100 ha/yr of primary *terra firme* forest destroyed during the extraction of bauxite ore at Trombetas, in Pará State, Brazil (Knowles and Parrotta 1995).

During the past year, we compared the structure and floristic composition of 10-to 12-year-old reforestation areas that were established between 1984 and 1987 using five different techniques, or treatments:

- (1) Mixed plantings of approximately 70 tree species of different successional stages (the current standard reforestation practice at this site);
- (2) Standard afforestation "failure" (same as above, except with insufficient topsoil application);
- (3) Direct seeding with approximately 40 native early successional species (reliance on applied topsoil seed bank for forest regeneration);
- (4) Mixed commercial species plantings of 5 *Eucalyptus* species, *Acacia mangium*, and one native tree species, *Sclerolobium paniculatum*;
- (5) Monoculture of *S. paniculatum*;

- (6) Natural regeneration (reliance on soil seed bank).

In all cases, site preparation of the mined area included leveling the clay overburden, replacing approximately 15 cm of topsoil [except treatment (2)], and deep-ripping of tree-planting lines.

With the exception of the "failed" standard afforestation treatment (2), the percentage of crown cover ranged from 53 to 70 percent, basal area ranged from 14 to 27 m² ha⁻¹, and forest floor development was generally very good, with mean litter+humus depths ranging from 34 to 44 mm among the other five treatments. Basal area development was highest in the mixed commercial species (25 m² ha⁻¹) and *S. paniculatum* monoculture (27 m² ha⁻¹) treatments, and significantly higher than in the natural regeneration (20 m² ha⁻¹), direct seeding (17 m² ha⁻¹), and standard afforestation (14 m² ha⁻¹) treatments.

In the "failed" standard afforestation study plots, mean crown cover, tree basal area, and litter+humus depths were 29 percent, 1.9 m² ha⁻¹, and 15 mm, respectively (table 1). Tree growth in these plots was poor, and grasses generally dominated the understory, precluding natural regeneration by all but a few early successional species (Parrotta and others 1997). These results highlight the importance of careful site preparation, particularly the application of sufficient topsoil to begin replenishing lost organic matter, water-holding capacity, and nutrients on these severely degraded soils.

Table 1. –Results of forest restoration on severely degraded lands mined for bauxite ore at Trombetas, Pará State, Brazil.

	Standard Standard Afforestation	Mixed Afforestation "failure"	Natural Direct Seeding	Commercial Species	Sclerolobium monoculture	Regeneration (with topsoil)
Year established	1985	1985	1986	1987	1984	1983-87
Sample area (m ²)	2,512	471	1,256	471	157	942
Basal area (m ² ha ⁻¹)	13.9 ^d	1.9 ^e	16.8 ^{cd}	24.9 ^a	27.1 ^{ab}	19.6 ^{bc}
Crown cover (%)	56.1 ^{bc}	28.7 ^d	53.2 ^c	59.8 ^{ab}	70.5 ^a	63.5 ^a
Litter (O1) depth (mm)	32.4 ^c	14.0 ^d	32.7 ^c	42.7 ^b	31.8 ^{bc}	46.0 ^{ab}
Humus (O2) depth (mm)	8.3 ^a	1.2 ^b	6.9 ^a	5.7 ^{ab}	1.4 ^{ab}	6.3 ^a
Litter + humus depth (mm)	41.3 ^{bc}	15.0 ^d	39.8 ^c	48.4 ^{ab}	33.5 ^{ab}	52.8 ^a
Density of grasses (no. m ⁻²)	0.40 ^e	2.74 ^a	1.14 ^{bc}	1.16 ^{cd}	1.79 ^{ab}	0.52 ^{de}
Tree species richness (No. spp./plot)	28.0 ^b	15.5 ^d	35.4 ^a	17.5 ^{cd}	19.5 ^{bcd}	23.1 ^c
Tree species diversity (H')	0.93 ^{cd}	0.72 ^d	1.17 ^{ab}	0.92 ^{bc}	1.23 ^{abc}	1.20 ^a
Woody species: % total I.V.						
tree life span <20 y	40.4	68.3	63.5	55.8	61.5	61.0
tree life span 20-40 y	34.1	10.3	22.7	40.6	18.8	18.8
tree life span 40-80 y	16.8	14.2	9.2	2.8	14.1	10.7
tree life span >80 y	8.7	7.3	4.6	0.8	5.6	9.6

Notes:

- (1) similar superscript letters within a row indicate that means were not significantly different between treatments (P<0.05, ANOVA)
(2) I.V. (Importance Value) = (relative density + relative frequency + relative basal area)/3

Tree species richness ranged from 15.5 to 35.4 species per 78.5 m² study plot and was greatest in the direct seeding treatment, followed by the standard afforestation, natural regeneration, *Sclerolobium* monoculture, mixed commercial species, and "failed" standard afforestation treatments (table 1; fig. 1). Important differences in tree species composition and dominance were found among treatments. While short-lived, early successional species such as *Vismia* spp. and *Belucia dichotoma* were very common in all treatments, longer-lived, late successional primary forest tree species were more common and generally had higher importance values in the standard afforestation than in the direct seeding treatment (fig. 2). All other treatments were dominated almost exclusively by early successional tree species.

The results show that all treatments are being progressively enriched through regeneration from the soil seed bank and subsequent colonization by primary forest species from the undisturbed forests surrounding the mine site. However, those treatments involving planting of later successional species, particularly the standard afforestation treatment, provide the greatest "jump-start" of natural forest succession. Further, the relative dominance of longer lived species in these treatments may represent an "insurance" against arrested succession or reversion to grassland. This can occur as, the early pioneer species die out and create understory microclimatic conditions less favorable for regeneration of later successional tree species and more favorable to invasion by fire-prone grasses.

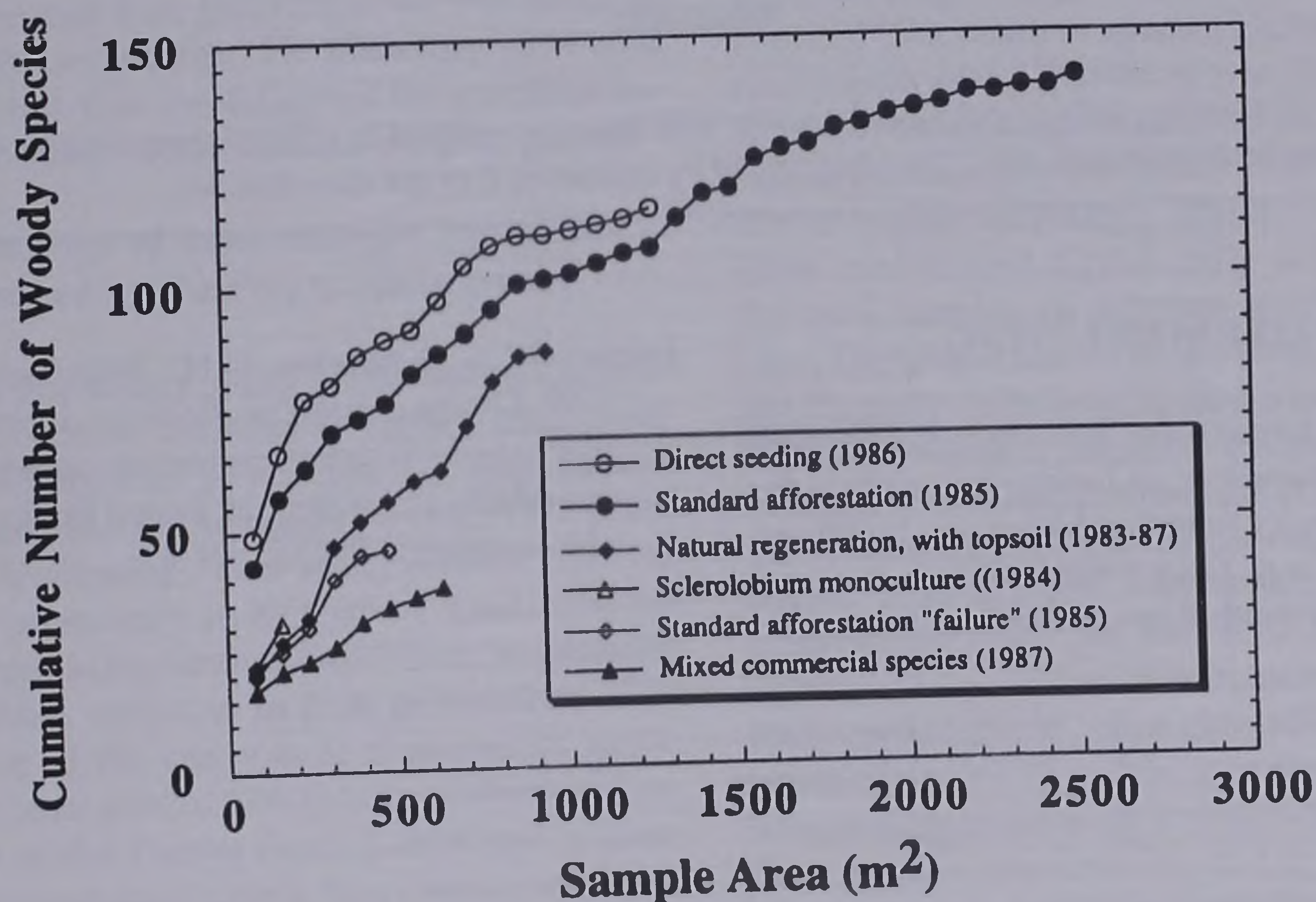


Figure 1. —Species-area relationship for tree species in 10- to 12-year-old forest rehabilitation treatments at bauxite mined site (Trombetas, Pará, Brazil).

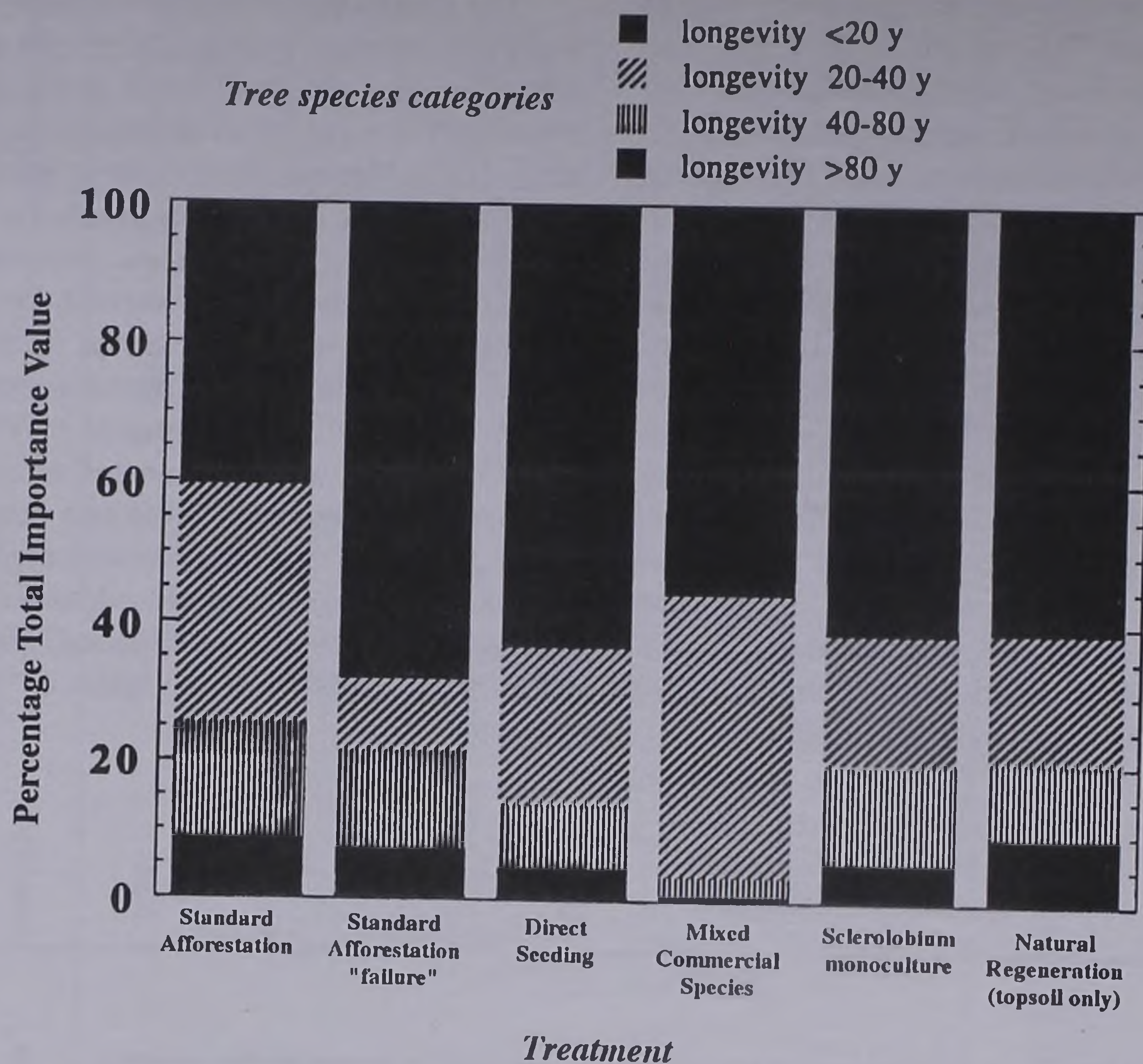


Figure 2. –Percentage total importance value for tree species surveyed in afforestation treatments at Trombetas bauxite mined site. Species grouped by estimated tree life expectancies.

LITERATURE CITED

Knowles, O.H.; Parrotta, J.A. 1995. Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and field performance indices. *Commonwealth Forestry Review*. 74(3): 230-243.

Parrotta, J.A.; Knowles, O.H.; Wunderle, J.M. 1997. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 99(1-2): 21-42.

WILDLIFE RESEARCH

Joseph M. Wunderle, Jr.
Research Wildlife Biologist

During fiscal year 1997, we initiated two new field projects, completed analysis for one project, and published three papers. These activities are summarized below:

NEW FIELD PROJECTS INITIATED

Movements, home range, and habitat use by the Puerto Rican boa in the Luquillo Experimental Forest

Studies using surgically-implanted radio transmitters have been initiated in the LEF to characterize the movements and habitat use of the endangered Puerto Rican boa (*Epicrates inornatus*). In the LEF, the species is highly arboreal, spending most of its time high in trees. We intend to characterize the types of trees used by the boas, which may prove helpful in reducing potential boa predation on the nests of Puerto Rican parrots. We presently have nine individuals that are followed on a weekly basis. The study is planned for a 3 year period.

Phenology of some common fruits consumed by the Puerto Rican parrot

A phenology study was initiated to monitor parrot fruits monthly along two phenology trails (Caimitillo, 10 species, 122 individuals, and Palo Hueco-Quebrada Grande, 11 species, 144 individuals). This study differs from an earlier phenology study that we conducted using larger samples that enabled us to quantify individual variation in fruit production. The purpose of the study is to characterize variation in fruit production to help understand behavior of the Puerto Rican parrot and to identify the most appropriate time periods to release parrots. The study was initiated in August 1996, and fruiting plants will be monitored for at least 5 years or longer, if possible.

ANALYSES COMPLETED

Avian distribution in dominican shade coffee plantations: area and habitat relationships

During this period, I completed an analysis of census and habitat variables previously obtained in shade coffee plantations. In this study, both resident and wintering Nearctic migrants were sampled by point counts in 40 small to medium-sized (0.07 to 8.65 ha) shade coffee plantations with an overstory of *Inga vera* in the Cordillera Central, Dominican Republic. The purpose of the study was to determine the relative importance of plantation area, isolation, and habitat structure to avian distribution and abundance as summarized in table 1. Variation in abundance was unrelated to plantation area in seven migrant species, but the local abundance of four resident species increased significantly with area. Elevation was the only variable that contributed significantly to the total number of species per plantation (fewer species at higher elevation), and no habitat variables contributed significantly to variation in the total number of migrant species. In contrast, the total number of resident species was significantly correlated with several variables: higher numbers of resident species were found in larger and older plantations at lower elevations, and in plantations having numerous stems > 3 cm in d.b.h., with little or no pruning of overstory branches, and maximum canopy cover at 12.0 to 15.0 m. I concluded from these findings that shade coffee plantations with high levels of structural and floristic diversity should be encouraged for avian conservation, and even the smallest plantations, if not too isolated by treeless areas, can contribute to avian abundance and diversity in tropical agricultural regions.

Table 1. –Variables identified as significant predictors of avian species richness or relative abundance of 17 species sampled by point counts in shade coffee plantations in the Dominican Republic. Variables were selected by using forward stepwise multiple regression and partial correlations calculated to indicate the importance of each variable to the overall model. Only partial correlations, which are significant ($P \leq 0.05$), are shown, and negative partial correlations are indicated by (-). Explanation of habitat variables provided^a.

Species	R ²	P	Habitat variable	Partial R ²
Total species	0.25	0.005	Elevation	(-) 0.13
Total resident species	0.56	0.001	Stems	0.38
			Log plantation area	0.21
			Foliage density	0.18
			Elevation	(-) 0.16
			Total foliage 12.0 - 15.0 m	0.14
Total migrant species	0.00	N.S.		
Residents				
Hispaniolan lizard cuckoo (<i>Saurothera longirostris</i>)	0.10	0.01	Log plantation area	0.15
Hispaniolan emerald (<i>Chlorostilbon swainsonii</i>)	0.46	0.001	Total foliage 0.0 - 0.5 m	0.40
			Total coffee stems	(-) 0.39
			Distance to forest	(-) 0.32
Narrow-billed tody (<i>Todus angustirostris</i>)	0.20	0.04	Stems	(-) 0.15
Broad-billed tody (<i>Todus subulatus</i>)	0.56	0.001	Elevation	(-) 0.43
			Categories with <i>Inga</i>	(-) 0.26
			Log plantation area	0.24
Hispaniolan woodpecker (<i>Melanerpes striatus</i>)	0.31	0.004	Elevation	(-) 0.20
			Log plantation area	0.12
Red-legged thrush (<i>Mimocichla plumbeus</i>)	0.51	0.001	Elevation	(-) 0.29
			Distance to plantation	0.21
			Total foliage 0.0 - 0.5 cm	0.19
			Categories with <i>Inga</i>	(-) 0.16
			Plant species	0.09
Rufous-throated solitaire (<i>Myadestes genibarus</i>)	0.22	0.01	Log plantation area	0.17
Black-whiskered vireo (<i>Vireo atilquus</i>)	0.13	0.02	Elevation	(-) 0.13

Table 1. —continued

Species	R ²	P	Habitat variable	Partial R ²
Stripe-headed tanager (<i>Spindalis zena</i>)	0.11	0.04	Elevation	(-) 0.11
Black-cowled oriole (<i>Phaenicophilus palmarum</i>)	0.28	0.007	Categories with <i>Inga</i>	0.20
Migrants				
Black-and-white warbler (<i>Mniotilta varia</i>)	0.33	0.007	Total foliage 12.0 - 15.0 m	0.23
			Total foliage 4.0 - 6.0 m	0.19
			Foliage density	(-) 0.13
Cape may warbler (<i>Dendroica tigrina</i>)	0.58	0.001	Stems	0.42
			Total foliage 0.0 - 0.5	0.18
			Total foliage 12.0 - 15.0 m	(-) 0.13
			Total plant species	(-) 0.13
Black-thr. blue warbler (<i>Dendroica caerulescens</i>)	0.26	0.004	Total foliage 1.5 - 2.0 m	(-) 0.20
Black-thr. green warbler (<i>Dendroica virens</i>)	0.15	0.02	Total foliage 4.0 - 6.0 m	0.15
Ovenbird (<i>Seiurus aurocapillus</i>)	0.17	0.04	Elevation	(-) 0.12
Common yellowthroat (<i>Geothlypis trichas</i>)	0.37	0.001	Distance to forest	0.30
			Categories with <i>Inga</i>	(-) 0.18
			Total foliage 1.5 - 2.0 m	(-) 0.11
American redstart (<i>Setophaga ruticilla</i>)	0.31	0.01	Total foliage 4.0 - 6.0 m	0.22
			Stems	(-) 0.19

^aMultiple regression run on 14 independent variables including estimated distance to nearest plantation, estimated distance to nearest forest, log plantation area, and habitat variables measured in each plantation, elevation, number of stems > 3.0 cm in d.b.h., foliage density, and foliage categories.

PUBLICATIONS DURING THIS PERIOD

During the 1997 fiscal year, three papers were published. Our studies summarizing avian distribution in sun and shade coffee plantations in the Dominican Republic indicated that forest birds were more common in shaded coffee plantations in contrast to sun (unshaded) plantations in which brushland or matorral

species were most abundant (Wunderle and Latta 1996). We concluded that shade coffee plantations could play an important role in helping to maintain avian diversity in some tropical agricultural regions. During the course of our Dominican coffee studies, we found an abundance of endemic bird species in the coffee plantations as well as in nearby pine forests. Detailed ecological studies of two

morphologically similar species of todies (narrow-billed tody, *Todus angustirostris*; broad-billed tody, *T. subulatus*) uncovered major ecological and behavioral differences, which are presumed to be important in reducing interspecific competition between these two endemic species (Latta and Wunderle 1996). Finally, in my commentary on biodiversity in coffee plantations (Wunderle 1997), I emphasized three major points:

(1). "Diversity begets diversity" - This represents the "take home message" for biodiversity in plantations with both biodiversity and structural diversity of the vegetation, both contributing to biodiversity in coffee plantations.

(2). "It is not just the quantity of species in shade coffee plantations, but also the *quality* of the species, which makes shade coffee plantations important habitat for biodiversity." - This statement refers to the fact that some shade plantations can be attractive to forest-dwelling birds that may use the plantations as refugia in agricultural regions.

(3). "Some shade coffee plantations may provide habitat of equivalent quality to native

tropical forest species". - This statement was based on the fact that several species show the same levels of site fidelity in shade plantations as they show in native forests in the Caribbean. Interest in the value of shade coffee in helping to preserve tropical biodiversity continues as the number of studies of coffee plantations increases.

LITERATURE CITED

- Latta, S.C.; Wunderle, J.M. 1996. Ecological relationships of two todies in Hispaniola: effects of habitat and flocking. *The Condor*. 98: 769-779.
- Wunderle, J.M.; Latta, S.C. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical*. 7: 19-34.
- Wunderle, J.M. 1997. Commentary: Biodiversity in shade coffee plantations. In: Rice, R.A.; Harris, A.M.; McLean, J., eds. *Proceedings of the First Sustainable Coffee Congress (1996)*. Washington, DC: Smithsonian Migratory Bird Center: 183-185.

ENTOMOLOGICAL STUDIES

Juan A. Torres
Entomologist

In collaboration with Maribelis Santiago from the International Institute of Tropical Forestry (IITF), I have continued the studies on the effects of the fungus grower ant *Trachymyrmex jamaicensis* on soil movement, and fertility and on seed germination in the Guánica dry forest. After 11 months, we have not observed germination in the ant refuse piles or in adjacent control soils. We are simulating 5 inches of rainfall in an attempt to stimulate seed germination to assess the importance of the ant refuse piles in both germination and survivorship.

In collaboration with Miguel Canals (Department of Natural and Environmental Resources, DNER) and Roy Snelling (Los Angeles County Museum of Natural History), we have been conducting studies and collecting data on ant nuptial flights in the Guánica subtropical dry forests for a 14- month period. Also, we have discovered three new ant species and several new wasp species for Puerto Rico, which we are presently working on

describing. Also, Roy Snelling and I submitted a manuscript for publication redescribing *Camponotus ustus* and describing two new species of *Camponotus* for Puerto Rico. A manuscript dealing with the food habits of the blind snakes (*Typhlops*) was submitted to the Journal of Herpetology. This work was conducted in collaboration with Richard Thomas University of Puerto Rico, Manuel Leal (Washington University) and Tom Gush (New-South-Wales Australia).

In addition, I have been conducting studies in collaboration with Tappey Jones (Virginia Military Institute) on the venoms produced by several species of ants belonging to the *Camponotus*, *Crematogaster*, and *Megalomyrmex* genera. Work is in progress to publish the results of these studies.

We published the following paper: Torres, J.A.; Snelling, R.R. 1997. Biogeography of Puerto Rican ants: a non-equilibrium case? Biodiversity and Conservation. 6: 1103-1121.

INDUCTION OF FLOWERING AND FRUITING IN *STYRAX PORTORICENSIS*, A RARE ENDEMIC TREE OF PUERTO RICO

Juan Ramírez, Carlos Estrada, and John Parrotta
Forestry Technician, Forestry Technician, and Research Forester

Styrax portoricensis Krug & Urban (Styracaceae) is a small, evergreen tree endemic to the montane forests of eastern Puerto Rico (fig. 1). Locally known as Palo de jazmín, it is one of the rarest Puerto Rican trees, first described in 1892 by the German botanist P. Sintonis from specimens collected in 1885 at Sierra de Naguabo and Yabucoa. It was rediscovered in the Luquillo Mountains in 1935 by Claud Horn and Leslie Holdridge of the U.S. Department of Agriculture, Forest Service, and again, in 1954 by Roy Woodbury on the Carite Commonwealth River (Little and others 1974).

Thirty years elapsed before the species was again recorded in 1983 by Carlos Rivera of International Institute of Tropical Forestry, who found three individuals in the Colorado Valley of El Cacique Peak in the Caribbean National Forest. In 1992, these individuals were relocated by C. Estrada and J. Ramírez (Table 1). By this time, presumably due to damage caused during Hurricane Hugo in 1989, one of the trees (tagged #76-314) had suffered severe crown damage but had since resprouted and was flowering from new shoots; this individual died in 1995. Another was uprooted and had produced numerous shoots along the length of its stem.

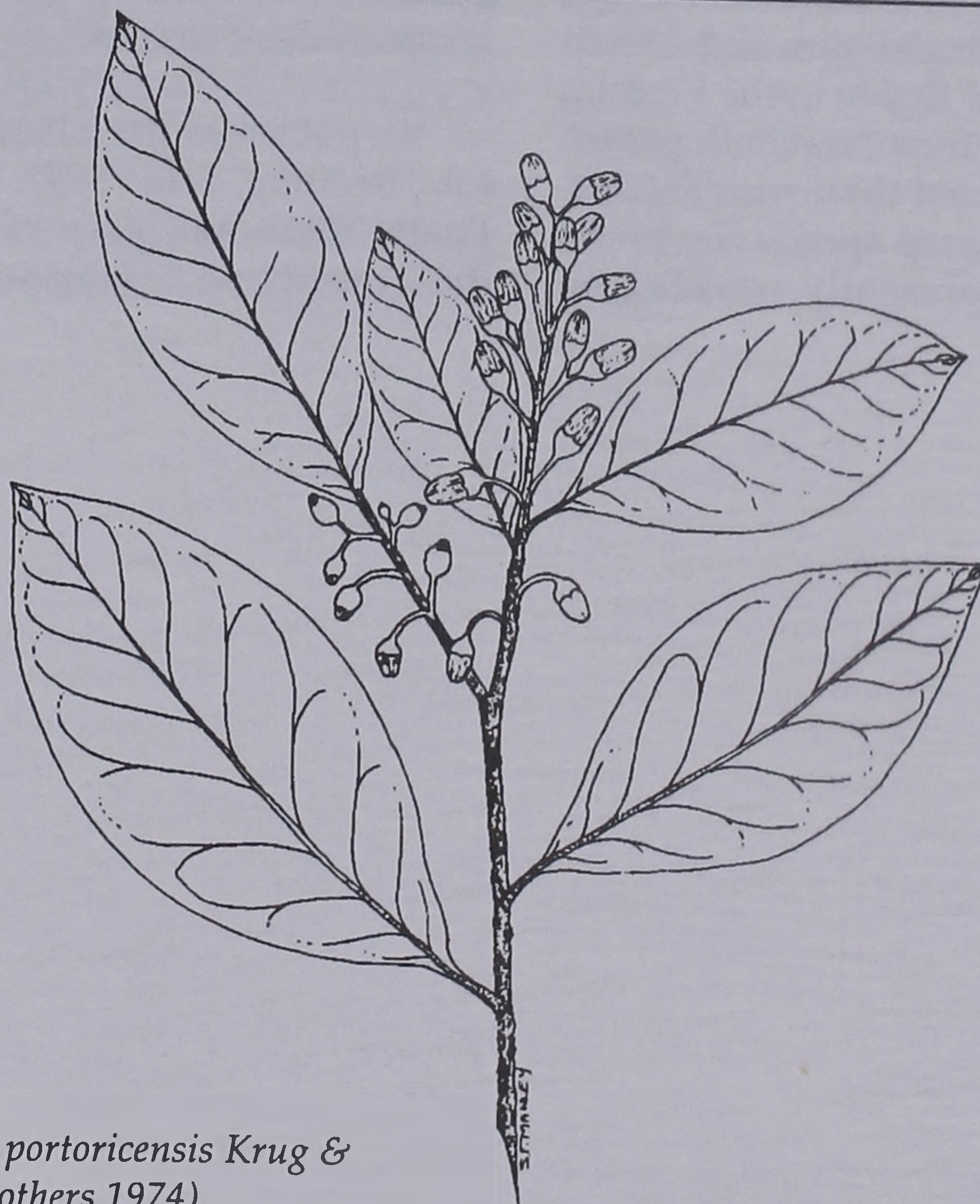


Figure 1. —*Styrax portoricensis* Krug & Urban (Little and others 1974).

Table 1. —*Styrax portoricensis*: trees found in the Luquillo Experimental Forest/CNF.

No.	D.B.H.	Height	Location	Date discovered	Discovered	Condition in 1997
	—cm—	m—				
76-314	8.3	9.0	El Cacique	1983	C. Rivera	dead
#1	7.0	9.5	El Cacique	1983/1992	C. Rivera, J. Ramírez, & C. Estrada	good
#2	9.8	8.0	El Cacique	1983/1992	C. Estrada	uprooted
#3	7.0	9.6	El Cristal	Feb. 1997	C. Rivera	good
#4	6.0	7.5	El Cristal	July 1997	C. Estrada	good
#5	2.9	5.2	El Cristal	July 1997	C. Estrada	good
#6	5.4	7.0	El Cristal	July 1997	C. Estrada	good

The observed vegetative regrowth and apparent stress-related induction of flowering suggested that air layering might be a promising technique for inducing flowering and fruiting in this species. If this technique were successful to the extent of yielding mature fruits and viable seeds, then it could be used to produce seedlings of this endangered species for planting on appropriate sites in the forest or elsewhere for *ex situ* conservation.

In September 1994, a preliminary air layering experiment was initiated by J. Ramírez and C. Estrada using the prostrate, uprooted tree found at El Cacique. Four shoots arising from different positions along the stem were chosen. These shoots ranged in diameter from 0.3 to 2.3 cm, with shoot lengths from 20 to 30 cm. Air-layers were prepared using standard techniques, with a commercial plant hormone preparation (Rootone) applied to stimulate growth. For 1 year, monthly observations were made of flower bud initiation, flowering, and fruit production. These results are summarized in fig. 2.

Flowering occurred quickly within the first 3 months as did fruit initiation, which peaked at 3 months. Flower and fruit abortion rates

were high. Of the 109 fruits produced between October and December 1994, only 9 (single-seeded) matured by August 1995. The seeds of these fruits were sown in pots at the field site using local surface soil. Two of the nine seeds germinated, of which one seedling survived; it has since been successfully transplanted and is being monitored.

Since these experiments were conducted, four new trees have been discovered (in 1997) in the Luquillo Experimental Forest in an area between the El Cristal and Bisley watersheds. These discoveries raise hopes that the species may not be quite as rare as previously thought. Nonetheless, the results of the air layering experiments are promising and may, in the future, be an important part of an overall conservation strategy for this and other rare and endangered trees.

LITERATURE CITED

- Little, E.L., Jr.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1974. Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. Agric. Handb. 449. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 1024 p. Vol. 2.

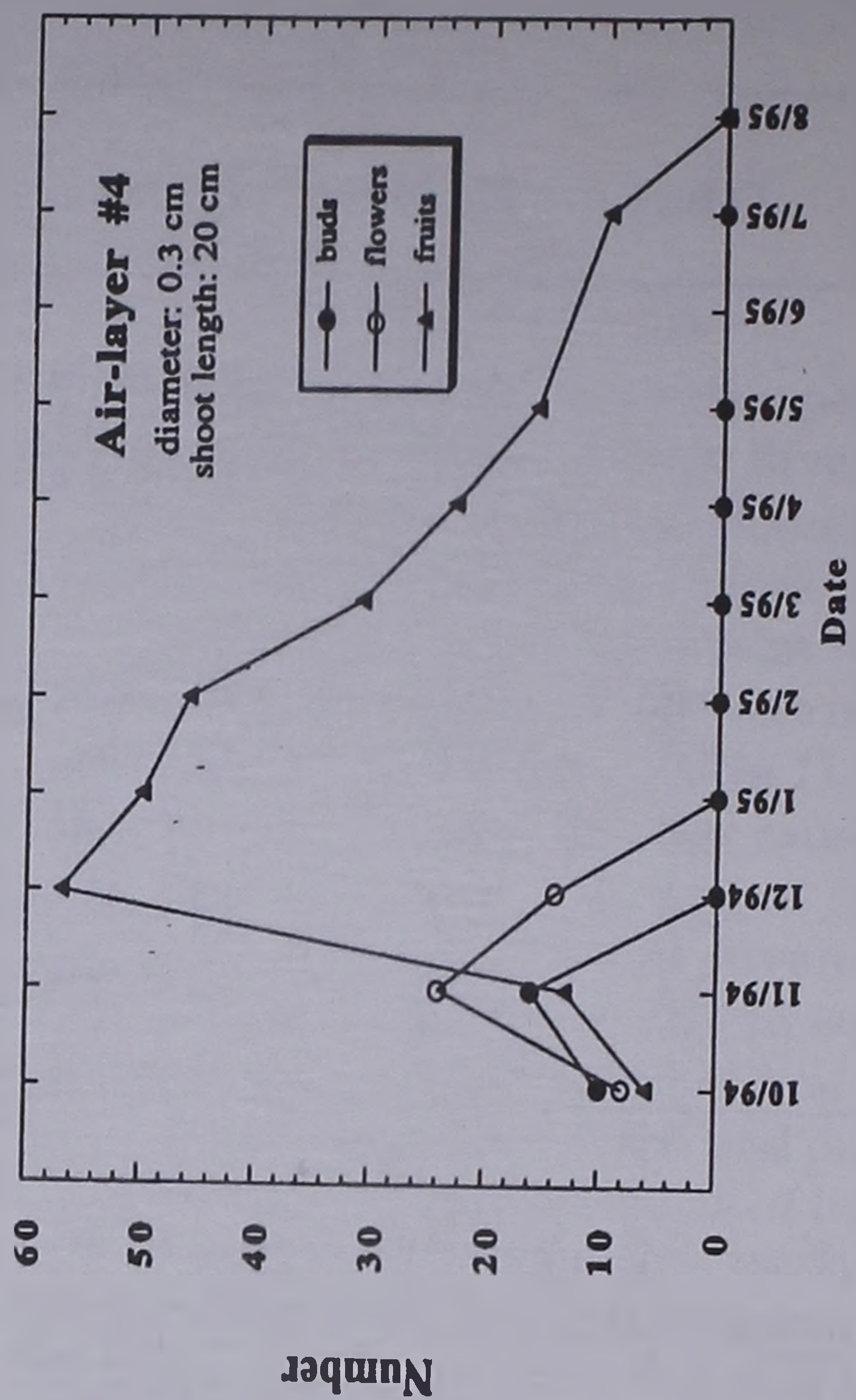
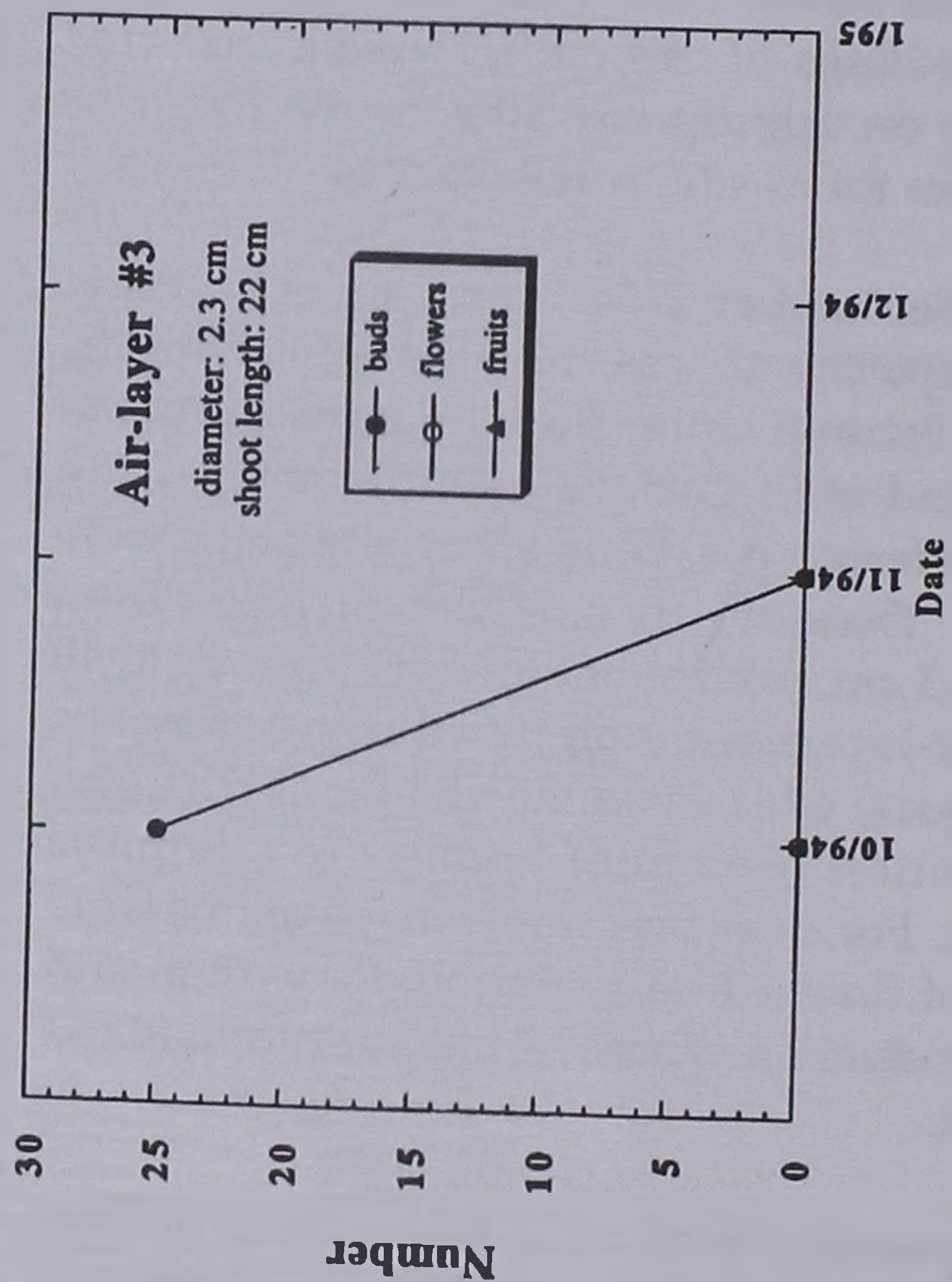
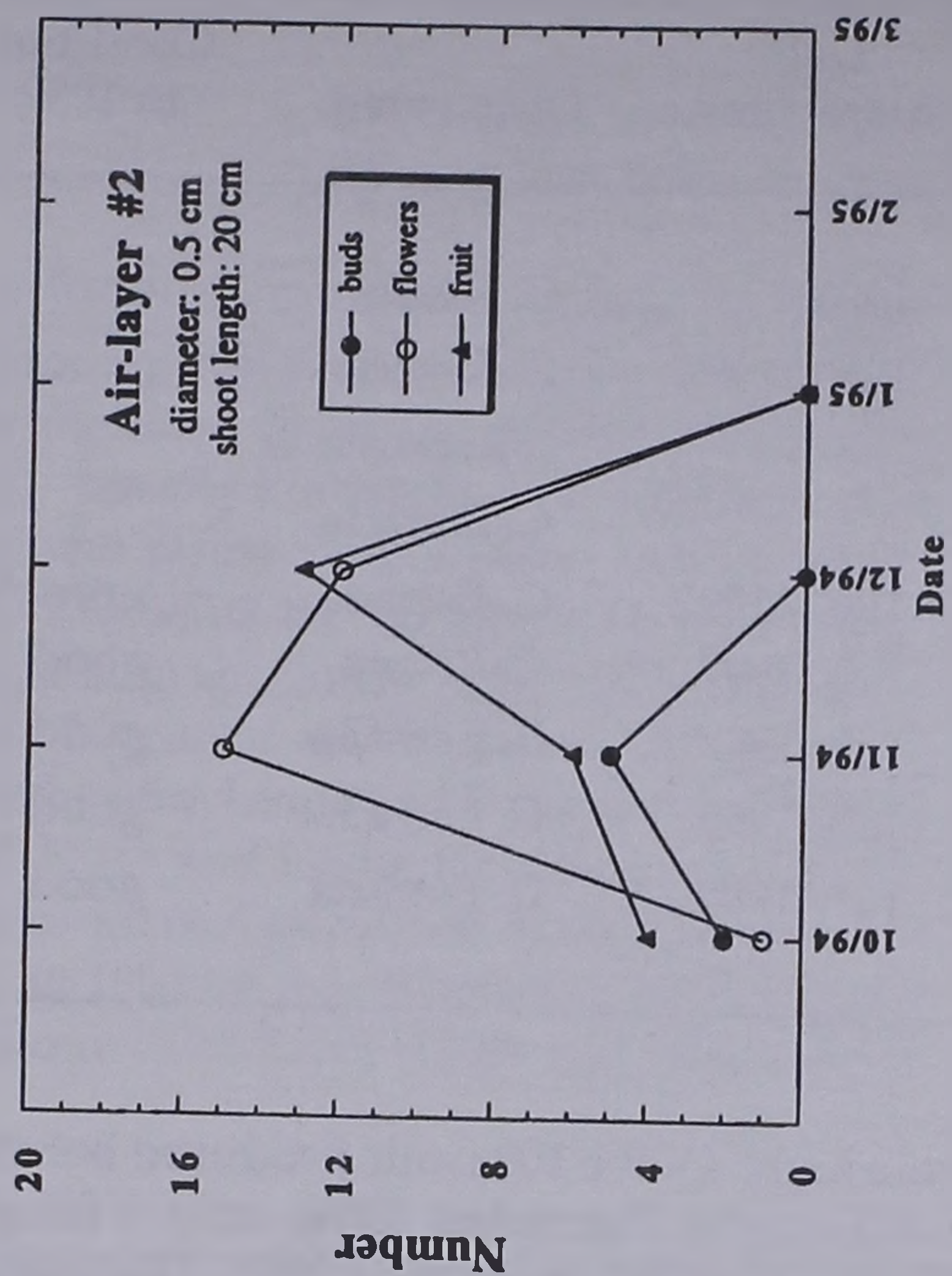
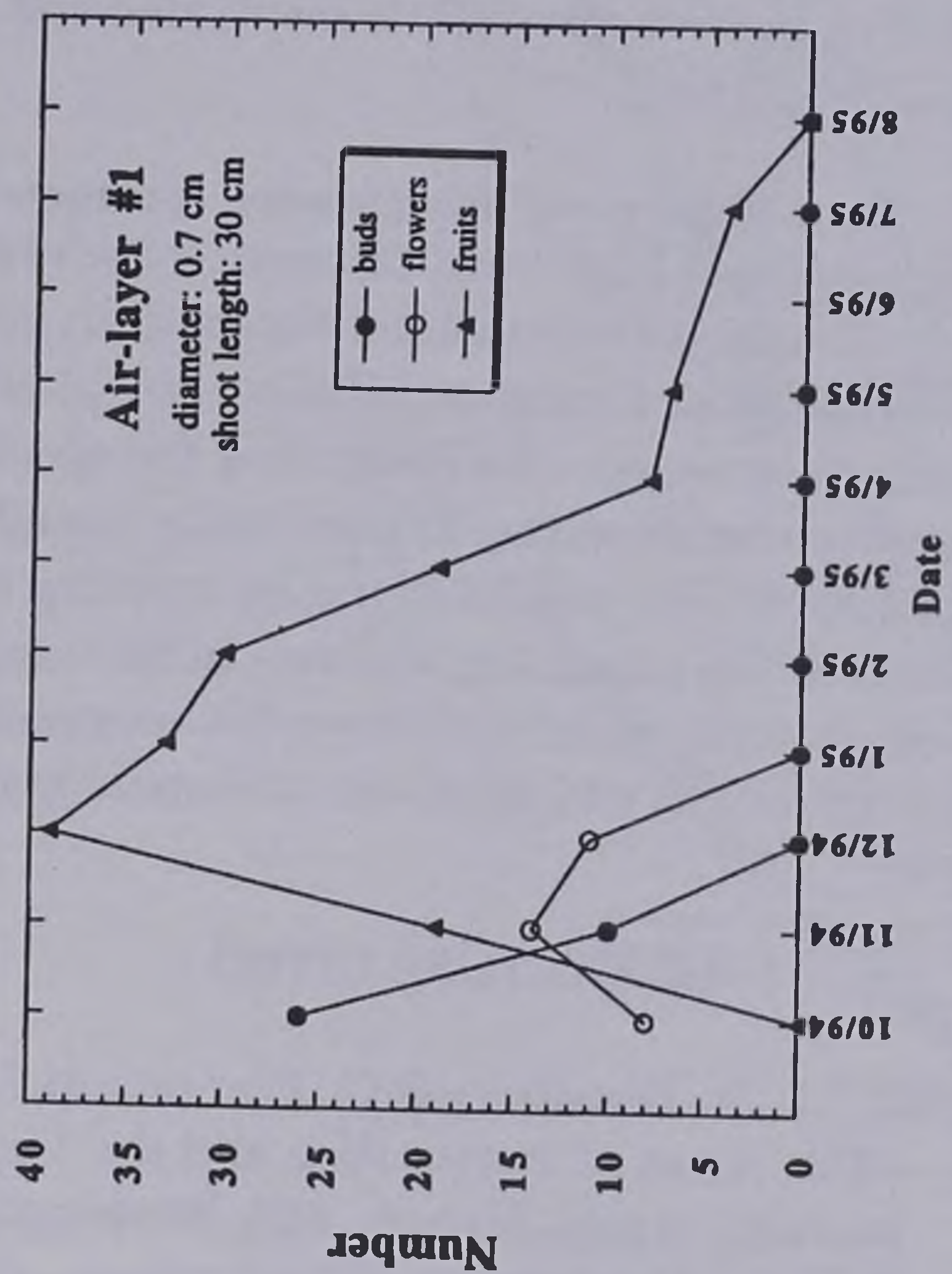


Figure 2. – Flowering and fruiting in *Styrax portoricensis* air layers. Air-layers prepared in September 1994.

THE LARGE-SCALE BIOSPHERE-ATMOSPHERE EXPERIMENT IN AMAZONIA

Michael Keller
Research Physical Scientist

The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) is an international research initiative lead by Brazil. LBA is designed to create the new knowledge needed to understand the climatological, ecological, biogeochemical, and hydrological functioning of Amazonia, the impact of land-use change on these functions, and the interactions between Amazonia and the Earth system. LBA is centered around two key questions that will be addressed through multi-disciplinary research, integrating studies on the physical, chemical, biological, and human sciences:

- How does Amazonia currently function as a regional entity?

- How will changes in land use and climate affect the biological, chemical, and physical functions of Amazonia, including the sustainability of development in the region and the influence of Amazonia on global climate?

In LBA, emphasis is given to observations and analysis, which will enlarge the knowledge base for Amazonia in six general areas: Physical Climate, Carbon Storage and Exchange, Biogeochemistry, Atmospheric Chemistry, Hydrology, and Land-Use and Land Cover. The program is designed to address major issues raised by the Climate Convention. It will help provide the basis for sustainable land use in Amazonia, using data and analysis to define the present state of the system and its response to observed perturbations, complemented by modeling to provide insight into possible changes in the future. In the Physical Climate component, meteorological and hydrological studies will be conducted for nested spatial scales from plots to the entire Amazonia, with focus on determining and understanding the spatial and temporal variations of energy and water fluxes. Variations of climate, and the responses of the Amazonian system to these

variations, will be determined on daily to seasonal time scales. The data fields generated by a numerical weather prediction model will be stored and used in a four-dimensional data assimilation scheme (4-DDA) as a primary tool to analyze the observations.

The duration of LBA should allow for direct observations of interannual climate variations, possibly including the effects of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) cycle. Data collected in the field program will be used to improve representation of key dynamical processes in meteorological models. The results will help to constrain the General Circulation Models used to examine interactions between climate and land cover changes in Amazonia.

The Carbon Storage and Exchange component will address two major questions: (1) are undisturbed ecosystems of Amazonia functioning as a net carbon sink, and (2) how much carbon is lost as a result of land cover and land use changes as in the clearing of forest for agriculture and selective logging? Multi year, ground-based measurements of carbon stores and fluxes will be made at sites strategically located along gradients of land-use intensity, vegetation, and climate, complemented by observations from aircraft campaigns and by modeling. Results from ecological models will be used together with a basin-wide Geographic Information System (GIS) to estimate Amazonia's carbon budget. Aircraft observations may provide estimates of carbon fluxes integrated over the basin for short intervals, as a check on models. The Biogeochemistry component will focus on nutrient cycling and emissions of greenhouse gases from natural and secondary forests and managed lands. Observations will be made over several years at sites strategically located along gradients of land-use intensity and climate, covering a range of soil fertility and land-uses. Measurements will

quantify fluxes of trace gases (emphasizing methane and nitrous oxide), fluxes of nutrients (including export to rivers), and changing stocks of nutrients. These data will be complemented by periodic airborne observations, multi-scale inventories, and local manipulative experiments. Data will be unified in a GIS and linked to models of ecosystem function. Key deliverables will be the analysis of the effects of land-use change on sources of greenhouse gases (a primary emphasis of the Climate Convention); diagnosis of the effects of climatic and land-use variations on trace gas and nutrient budgets; and evaluation of the implications for sustainable land use of changes in nutrient dynamics under differing management practices.

In the Atmospheric Chemistry component, the primary focus will be to understand the present-day influence of Amazonia on tropical and global concentrations of oxidants (ozone, hydroxyl radical), oxidant precursors (nitrogen oxides, hydrocarbons, carbon monoxide), and aerosols, as well as to complement the studies of greenhouse gases (carbon dioxide, nitrous oxide, methane) that are proposed in the biogeochemistry and carbon storage and exchange components. The experimental design combines long-term ground-based observations and intensive aircraft measurements. The aircraft campaigns will map biosphere-atmosphere exchange of gases and aerosols on the basin scale, supplementing the ground-based observations, and will investigate transport of gases and aerosols across boundaries of the basin. Large-scale, three-dimensional atmospheric chemistry models, using assimilated meteorological observations (obtained in the physical climate component), aircraft and ground-based data, will be applied to quantify exchanges of trace gases and aerosols between Amazonia and the global atmosphere. The Hydrology component will consider issues related to both the quantity and the chemistry of water in the Amazon Basin. The stores and fluxes of water, and the controls on movement of water in soils and in streams, and the associated transport of constituents will be determined for a nested suite of catchments representing a range of land-use intensities.

Forested and deforested catchments of several square kilometers will be instrumented to make measurements with high temporal resolution of discharge, rainfall, evaporation, interception, soil water storage, ground water leakage and export of sediment and nutrients. The data will be used to improve the capability of hydro-meteorological models to assess the response of flows of the Amazon and its tributaries to changes in climate and changes in land-use. Controls on the movement of materials from the upland through the riparian zone and into streams will be studied in small catchments drained by low-order streams. Models of nutrient budgets in larger catchments will integrate results from field work in the small catchments with extant models of higher order river biogeochemistry and extant and new models of hydrologic routing.

Land-Use and Land Cover changes from natural vegetation to agricultural crops and subsequent regrowth will be quantified and related to both physical and socio-economic causes. Amazonia-wide studies of deforestation and forest alteration will be conducted using satellite remote sensing and survey data. Case studies will be conducted to illustrate how changes in land-use affect land cover. Research to define the external factors and conditions that cause these changes will focus on the development of predictive models of land cover and land-use change.

LBA will combine newly developed analytical tools and innovative, multi-disciplinary, experimental designs in a powerful synthesis, which will create new knowledge to address long-standing issues and controversies. LBA will provide new understanding of environmental controls on flows of energy, water, carbon, nutrients, and trace gases between the atmosphere, hydrosphere, and biosphere of Amazonia to help provide the scientific basis of policies for sustainable use of Amazonian natural resources. The enhancement of research capacities and networks within and between the Amazonian countries associated with LBA will help advance education and applied research

into sustainable development and help in the process of formulating policies for the sustainable development of the region.

Scientists from the International Institute of Tropical Forestry and our collaborators have been actively planning the LBA program and hope to participate in this program as it enters its active phase. We plan to focus our efforts on issues related to land-use and cover change in the municipalities of Santarém and Belterra, Pará, Brazil. We will work in close coordination with our partners from Brazilian research institutions, specifically EMBRAPA-CPATU of Belem, Pará, and key participants from other

Brazilian government agencies such as the managers of the Tapajós National Forest outside of Santarém. Institute scientists and collaborators will focus efforts on the effects of selective timber harvest, a major land-use in Amazonia today. We hope to learn how selective timber harvest affects cycles of energy, water, carbon, and nutrients, and eventually, to provide new knowledge of forest function, which may be applied to the design of sustainable systems of forest management.

For further information on LBA contact the IITF or see <<http://yabae.cptec.inpe.br/lba>> on the Worldwide Web.

RESEARCH AND INTERNATIONAL COOPERATION

Peter L. Weaver
Research Forester

Investigation of five tree species for the International Institute of Tropical Forestry's Silvics Manual was one of the major research efforts for this year (Weaver 1996; 1997a-d). A brief introduction to each of these species follows:

Cyrilla racemiflora L., with a range extending from southeastern Virginia to south of Manaus, Brazil, attains its greatest size in the montane forests of the Antilles (Weaver 1996). In Puerto Rico, the largest cyrillas approach 2 m in d.b.h. and may be nearly 1,000 years old. Many mature *cyrilla* trees are hollow and serve as nesting sites for the rare and endangered Puerto Rican parrot.

Magnolia splendens Urban, rarely reaching 1 m in d.b.h. and 75 m in height, is endemic to the Luquillo Mountains. Once the prime cabinet timber in Puerto Rico, magnolia has declined in recent years due to past cutting and forest changes resulting from hurricanes. Magnolia grows slowly, probably reaching 65 cm in about 600 years. Occasionally attaining even larger sizes and capable of sprouting vigorously after hurricanes, the largest trees in the upper parts of the Luquillo Forest may be near 1,000 years old.

Ormosia krugii Urban, and *Sloanea berteriana* Choisy, trees with commercial uses, mature at 25 to 30 m in height and 60 to 90 cm in d.b.h. Both, with similar ranges, are endemic to the montane forests of the Caribbean islands. Large specimens of *Sloanea* in the Dominican Republic and Dominica have served as nesting sites for parrots.

Pterocarpus officinalis Jacq., common to coastal wetlands from México to the delta of the Amazon River and in the Caribbean islands, may reach 40 m in height and approach 1 m in d.g.h. Adapted to periodically flooded

lowlands, its winged seeds may germinate directly in the soil or while floating in debris.

The history of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and its management in Belize were other areas of emphasis during the year. Sixty years of records of the Belize forest department were reviewed along with other available information to summarize mahogany's status in that country. The results of the work were presented at two conferences: (1) the October 1996 big-leaf mahogany conference held in San Juan, Puerto Rico; and (2) the February 1997 international symposium on human dimensions in natural resource management held in Belize (Weaver 1997e). In addition, the 58-year history of Forest Service silvicultural activities in Puerto Rico and the Caribbean was presented at the National Silvicultural Workshop held in Warren, Pennsylvania, during May.

Another area of emphasis is cooperative work with the Puerto Rican National Trust. A document summarizing what is known about the Trust's 178-ha reserve is nearly completed. In addition, two long-term monitoring sites were established: (1) a small demonstration plot conveniently located as an interpretative site; and (2) a research plot in semievergreen dry forest to determine structure, composition, and stand dynamics. Moreover, more than 100 native trees of 5 species were planted as part of a project aimed at stimulating the recovery of native vegetation.

At the international level, two collaborative projects were initiated in conjunction with United States Agency for International Developments in Nicaragua. They are: (1) the establishment of permanent forest plots on Mombacho Volcano with a local Non Governmental Organization (Colcibolca); and (2) an historical review of the major Meliaceae

(big leaf and Pacific Coast mahogany and Spanish cedar) in Nicaragua. In the Dominican Republic, the IITF's reforestation project with the local NGO, (Fondo Integrado Pro-Naturaleza, PRONATURA), continues. About 10,000 trees of *Eucalyptus grandis* and *Acacia* sp. were planted on 5 ha. Survival after 1 year was about 60 percent.

LITERATURE CITED

Weaver, P.L. 1996. *Cyrilla racemiflora* L., Swamp cyrilla. SO-ITF-SM-78. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 12 p.

Weaver, P.L. 1997a. *Magnolia splendens* Urban, Laurel sabino. SO-ITF-SM-80. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 7 p.

Weaver, P.L. 1997b. *Ormosia krugii* Urban, Palo de matos. SO-ITF-SM-83. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 6 p.

Weaver, P.L. 1997c. *Sloanea berteriana* Choisy, Motillo. SO-ITF-SM-84. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 7 p.

Weaver, P.L. 1997d. *Pterocarpus officinalis* Jacq., Bloodwood. SO-ITF-SM-95. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 7 p.

Weaver, P.L. 1997e. Mahogany in Belize: an historical perspective. In: 1997 International Symposium on Human Dimensions of Natural Resource Management in the Americas; 1997 February 25-28; Belize City, Belize. Book of abstracts. Belize City: Ministry of Natural Resources and University of Belize, Colorado State University. 67 p.

STATE AND PRIVATE FORESTRY

Robin Morgan
State and Private Forestry

State and private forestry is customer driven, and service oriented in gearing to meet the societal needs of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. It is not just a collection of programs; it is a way of doing business. State and private forestry is characterized by:

- collaboration,
- shared and unified leadership,
- shared strategies and issues,
- complementary program efforts, and
- integrated and modern delivery systems.

In conducting State and private forestry business, we activate people and facilitate shared leadership through collaborative approaches across agency boundaries and with communities, including landowners and nonlandowning stakeholders. In so doing, we increase acceptance and support of forest management among the general public and government leaders in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands.

State and private forestry programs can be divided into five broad categories:

Urban and community forestry
Rural landowner assistance
Economic action
Forest health
Cooperative fire

All programs are delivered through partnerships. The partnership may have a foundation of financial assistance through a grant or cooperative agreement, or it may be through technical assistance and collaboration to reach a mutual goal.

State and private forestry partners in Puerto Rico include:

Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources

Puerto Rico Fire Service
University of Puerto Rico
Cooperative Research and Education Extension Service
El Atlántico Resource Conservation and Development Council
Caribe Resource Conservation and Development Council
U.S. Department of Agriculture Natural Resource Conservation Service
U.S. Department of Agriculture Farm Service Agency
U.S. Department of Agriculture Rural Development
USDI Fish and Wildlife Service
USDI National Park Service
Caribbean National Forest
International Institute of Tropical Forestry Research.

There are many other partners and collaborators, and the continues to value and support these efforts.

PROGRAM

Urban and Community Forestry

ASSISTANCE PROVIDED

Technical Assistance and Financial Assistance
(50 percent federal / 50 percent local)

Through matching grants to the Department of Natural and Environmental Resources (DNER) Forestry Bureau and the USVI Department of Agriculture, the Forest Service supports the delivery of technical assistance to other central government agencies, municipalities, educational institutions, citizen action groups, and community members. It is the intent of this program to create and strengthen the capacity of these other groups and individuals to effectively manage the individual trees and forests located within the developed and developing areas of these islands.

This matching grant also includes a financial award for pass-through allocations to eligible subrecipients: local government, nonprofit community action groups, and educational institutions.

Urban forestry management includes planting trees and their establishment care, ongoing maintenance, removal, protection, inventory and management planning, and public relations.

Natural Resource Conservation and Education

Technical Assistance and Financial Assistance (50 percent federal / 50 percent local)

This is a jointly sponsored program between the Forest Service and the National Association of State Foresters. The program involves Forest Service staff, the Puerto Rico DNER, the USVI Department of Agriculture, and many partners, including education and conservation organizations. It covers a wide audience, from preschoolers to adults, for increasing awareness and appreciation of natural resources, promoting critical thinking skills for making wise choices, and fostering individual responsibility to conserve and protect natural resources. This program supports and complements the Urban and Community Forestry program. The theme of this year's Puerto Rico Forestry Conference was tree conservation during construction.

State Forest Resource Planning

This program provides technical and financial assistance to enable State foresters to prepare, monitor, and revise island-wide plans that address forest resources and provide policy and program direction for forestry-related activities on State and private lands.

PROGRAM

Rural Landowner Assistance

ASSISTANCE PROVIDED

Technical Assistance and Financial Assistance

The Rural Landowner Assistance programs include a number of programs, which may appear to the general public as a seamless program:

Forest Resource Management, 50 percent federal / 50 percent local

Forest Stewardship, 50 percent federal / 50 percent local

Seedlings, Nursery, and Tree Improvement, 50 percent federal / 50 percent local

Forest Legacy, and the 50 percent federal / 50 percent local

Stewardship Incentive Program, 50 percent federal / 50 percent local

Forest Resource Management

With financial and technical assistance from the Forest Service, the PR DNER Forestry Bureau assists private forest landowners in applying sound forestry practices and finding better ways to manage and use natural resources on these private forest lands. The intent of this program is to protect soil and water resources, improve wildlife habitat, increase outdoor recreation opportunities, as well as provide wood products, preharvest planning, and adequate regeneration of harvested timber. In Puerto Rico, 134 new management plans for private forest lands were prepared in 1997, including 1,329 acres.

Forest Stewardship Program

The primary intent of this program is to bring private forest landowners into contact with natural resource professionals through the forest planning process. Forest Stewardship landowner plans and the acres covered by these plans are the measurable deliverables for this program. The program encourages private landowners to apply ecological and economic

resource management principles as they manage their forest land to produce multiple resource benefits for the present and future generations. In 1997, eight new Forest Stewardship plans were prepared for 551 acres of nonindustrial private forest lands.

Seedlings, Nursery, and Tree Improvement

Through technical and financial assistance to the PR DNER, high quality, genetically superior tree seeds and seedlings are made available to landowners and communities. This program helps to improve productivity of Puerto Rico's forests and to protect soil and water resources.

Forest Legacy

The Forest Legacy program fosters the protection and better use of forested lands threatened with conversion to non-forest uses by purchasing conservation easements or fee titles from willing private landowners. The PR Assessment of Need was finalized. The document identifies the critical lands to protect in Puerto Rico.

Stewardship Incentive Program

Through this cost-share program, the PR DNER provides financial incentives to private landowners to support good land stewardship and encourage the establishment of approved multiresource forest practices such as tree planting, thinning, windbreaks, wildlife habitat improvement, trail development, soil protection, etc., on private forest lands.

ASSISTANCE PROVIDED

Technical Assistance and Financial Assistance

PROGRAM

Economic Action Programs

Economic Recovery 80 percent federal/20 percent local

Rural Development 50 percent federal/50 percent local

Resource Conservation and Development 80 percent federal/20 percent local

Forest Products Conservation and Recycling technical assistance only

Wood in Transportation technical assistance only

Economic Recovery

The Forest Service provides technical and financial assistance to rural communities located in or near the Caribbean National Forest that have become economically dependent or disadvantaged due to public land management decisions. Grants, on a competitive basis, are designed for communities to prepare or implement an action-oriented plan, which promotes diversification and revitalization through partnerships.

Rural Development

The Forest Service provides technical and financial assistance to help strengthen, diversify, and expand local economies, especially those experiencing long-term or persistent economic problems. Communities need not be dependent on Federal lands to be eligible. Grants provide technical assistance and matching funds for projects designed to stimulate improvements in the economic or social well-being of rural citizens through natural resources.

Resource Conservation and Development (RC&D)

Natural Resource Conservation Service (NRCS) conducts this program to develop, improve, and conserve natural resources to improve economic, social, and environmental well-being within the two authorized RC&D areas in Puerto Rico, El Atlántico and Caribe, and the Virgin Islands RC&D Council. The NRCS provides financial assistance to the Forest Service in order to ensure technical assistance for planning and implementing forestry projects within RC&D areas.

Forest Products Conservation and Recycling (FPC&R)

Through the FPC&R program, the Forest Service provides technical assistance to the

"State" forestry agencies, producers and processors of forest products, forest managers, and regional, municipal and community groups involved in recycling and economic development. The focus is on wood products (primary and secondary), nontraditional forest products, and recycling of forest products. An Overview of the Forest Products of Puerto Rico was published this past year, and the Overview of the Forest Products of the U.S. Virgin Islands is nearing completion.

Wood in Transportation

Through this program, the Forest Service is authorized to provide financial and technical assistance on a competitive basis to local government for planning, designing, and constructing demonstration timber bridges as an alternative to steel and concrete. This program has not received local support in Puerto Rico or the U.S. Virgin Islands.

PROGRAM

Forest Health Protection

ASSISTANCE PROVIDED **Technical Assistance**

Through a Cooperative Agreement with the University of Puerto Rico, the Forest Service provides survey and technical assistance on cooperative lands in support of all State and Private Forestry programs. It is the function of this program to assist the PR DNER, land owners, and forest managers in (1) understanding the role insects and pathogens play in forest and ecosystem health; (2) applying integrated pest management principles; and (3) implementing strategies for preventing or suppressing, or both, the results of pest-related activities.

Forest Health Protection Technology Development Program Technical Assistance

Through this program, the Forest Service strives to improve capabilities to protect forest health by developing new and improved technology for use in survey, technical assistance, prevention, and suppression activities. In Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, the pink mealy bug is a pending threat. The host trees at risk for the insect, which is now working its way through the Caribbean islands, are mahoe, maga, mango, citrus, avocado, and many others.

Cooperative Fire

Technical Assistance and Financial Assistance (50 percent federal / 50 percent local)

The Forest Service cooperates, participates, and consults with the PR Fire Service and the USVI Fire Service on fire protection for non-Federal wildlands and other rural lands. The Forest Service provides technical and financial assistance to both fire suppression agencies. Part of this program is funded by the USDA Rural Housing Service for the purpose of enabling rural communities to improve wildland fire capabilities of local fire districts and departments.

Federal Excess Personal Property Technical Assistance

Through the General Services Administration (GSA), Federal excess property, including military vehicles and other equipment, is made available to the Fire Service for their use or for rural fire districts for improving wildland fire protection capabilities. A Fire Service screener locates the equipment at Roosevelt Roads military base in Puerto Rico and notifies Forest Service staff. The Forest Service acquires the property from GSA and loans it to the Fire Service for their use or subsequent loan to rural fire districts.

LONG-TERM AVIAN RESEARCH

Wayne J. Arendt
Research Wildlife Biologist

ACTIVE RESEARCH

Sabana Seca

By October 1997, the third and final year of assessing resident and migratory bird diversity, abundance, and habitat use in three forested habitats (karst, *Pterocarpus*, and mangrove) will be completed within the land holdings of the U.S. Navy's Sabana Seca Security Activity located along the north coast near Toa Baja, Puerto Rico.

Preliminary analyses suggest that resident and migratory bird populations may be declining, owing in part to the fragmentation of these once more extensive and fragile forest habitats and to the arrival and increase (also partially due to forest fragmentation) of the generalist avian brood parasite, the shiny cowbird (see appendix for scientific names).

Avian Diversity, Abundance, and Habitat Use

In summary, 79 species of birds, 57 residents (72 percent) and 22 migrants (28 percent) were found in the 3 habitats, with an average of 38 resident species (range = 34 to 42) and 14 migratory species (range = 9 to 20) per habitat (table 1). As for the most common species, there was an average of 18 resident (range = 16 to 20) and 5 migratory species (range = 1 to 8) per habitat (table 1). Whereas karst and mangrove forest, both mixed-species habitats, not unexpectedly harbored more resident bird species than did the *Pterocarpus* monoculture with an additional 5 and 8 species, respectively, quite unexpectedly, karst hosted 5 fewer migrants than *Pterocarpus* and 11 fewer than mangrove. A paucity of insects in karst forest is believed to be a major cause for the dearth of the mostly insectivorous migrants, but additional research is needed to confirm preliminary qualitative data.

Table 1. -Summary of migratory and resident bird species richness in three forested habitats on the U.S. Navy Security Activity, Sabana Seca, Puerto Rico.

Habitat Species	U.S.NSA			SS			PR		
	Karst Resid. ^c	Ptero. ^a Resid.	Mang. ^b Resid.	Karst Migr. ^d	Ptero. Migr.	Mang. Migr.	Karst Total	Ptero. Total	Mang. Total
Total	39	34	42	9	14	20	48	48	62
Comm. Sp.	20	16	17	1	6	8	21	22	25

^a = *Pterocarpus*

^b = Mangrove

^c = Resident

^d = Migratory

Possible Avian Population Declines

Although more years of monitoring will be necessary, preliminary analyses suggest that populations of several resident and migratory species are declining within the three forested habitats studied at the Sabana Seca Security Activity. Apparent resident bird population declines from October 1994 to August 1997 range from 55 percent (15 percent significantly) in karst to 81 percent (38 percent sig.) in *Pterocarpus* forest (fig. 1a). In karst forest, two of the eight resident species in decline (Adelaide's warbler, and Puerto Rican vireo) are hosts to the parasitic shiny cowbird, a probable major cause in the observed decline (fig. 1b). Whereas the vireo is known to be undergoing population declines elsewhere in Puerto Rico as a result of cowbird parasitism (Faaborg and others 1997, Woodworth and others, in press), much more research is needed to determine the susceptibility of the 3-island endemic Adelaide's warbler to cowbird parasitism. These two species must be closely monitored in the future in various habitats around the island to better prescribe adequate research and management programs. Although no significant decline was observed in the karst forest population of the threatened gamebird and Caribbean migrant, the white-crowned pigeon, census data over the past 3 years suggest that its numbers also are slowly decreasing (fig. 1b). This species also warrants close monitoring over the next few years.

To demonstrate similarly observed avian population declines in *Pterocarpus* and mangrove forest, species showing the most pronounced declines have been chosen (figs. 2 and 3). In *Pterocarpus* forest, of the 16 species undergoing observed population declines, four residents and one migrant show significant reductions. Of the four resident species (stripe-headed tanager, Puerto Rican flycatcher, mangrove cuckoo, and yellow warbler), the warbler is the only recognized major cowbird host. Point-count and banding data are currently under analyses in an attempt to discover causative factors attributing to the declines of the

other three resident species. Similarly, physical and biotic factors are under investigation in an attempt to determine the causes in the decline of the northern waterthrush, the most abundant nearctic-neotropical migrant in mangrove as well as *Pterocarpus* forest. However, because the waterthrush is a North American migrant, and, thus, may be experiencing population pressures in its breeding grounds and along migratory routes throughout its range, determination of potential factors influencing its populations on its "wintering" will be more difficult.

The Navy's holdings of coastal mangrove forest are much more extensive than its more interior and diminutive patch of *Pterocarpus* forest. Thus, quite surprisingly, and contrary to anticipated results, of the 7 significantly declining (out of 13 total) species in mangrove forest (one species, Mangrove Cuckoo, is not shown), 4 species are migrants (fig. 3). As in *Pterocarpus* forest, the northern waterthrush shows the steepest decline, closely followed by the northern parula (a New World paruline warbler). Although black-and-white warbler and American redstart are two common nearctic-neotropical migrants within many habitats of Puerto Rico, nonetheless, they, too, are showing apparent population declines in the Navy's north tract strand of mangrove forest. Once again, the potential causes are under study. Interestingly, the two resident species showing significant population declines in mangrove forest, the yellow warbler and black-whiskered vireo, are both known to be major hosts of the shiny cowbird, probably a major factor in their decline.

ANCILLARY RESEARCH

St. Kitts

As a result of a wildlife assessment, I was asked by the U.S. Agency for International Development and the Island Research Foundation to conduct a study on the southeastern peninsula of St. Kitts (Arendt 1985). I was offered

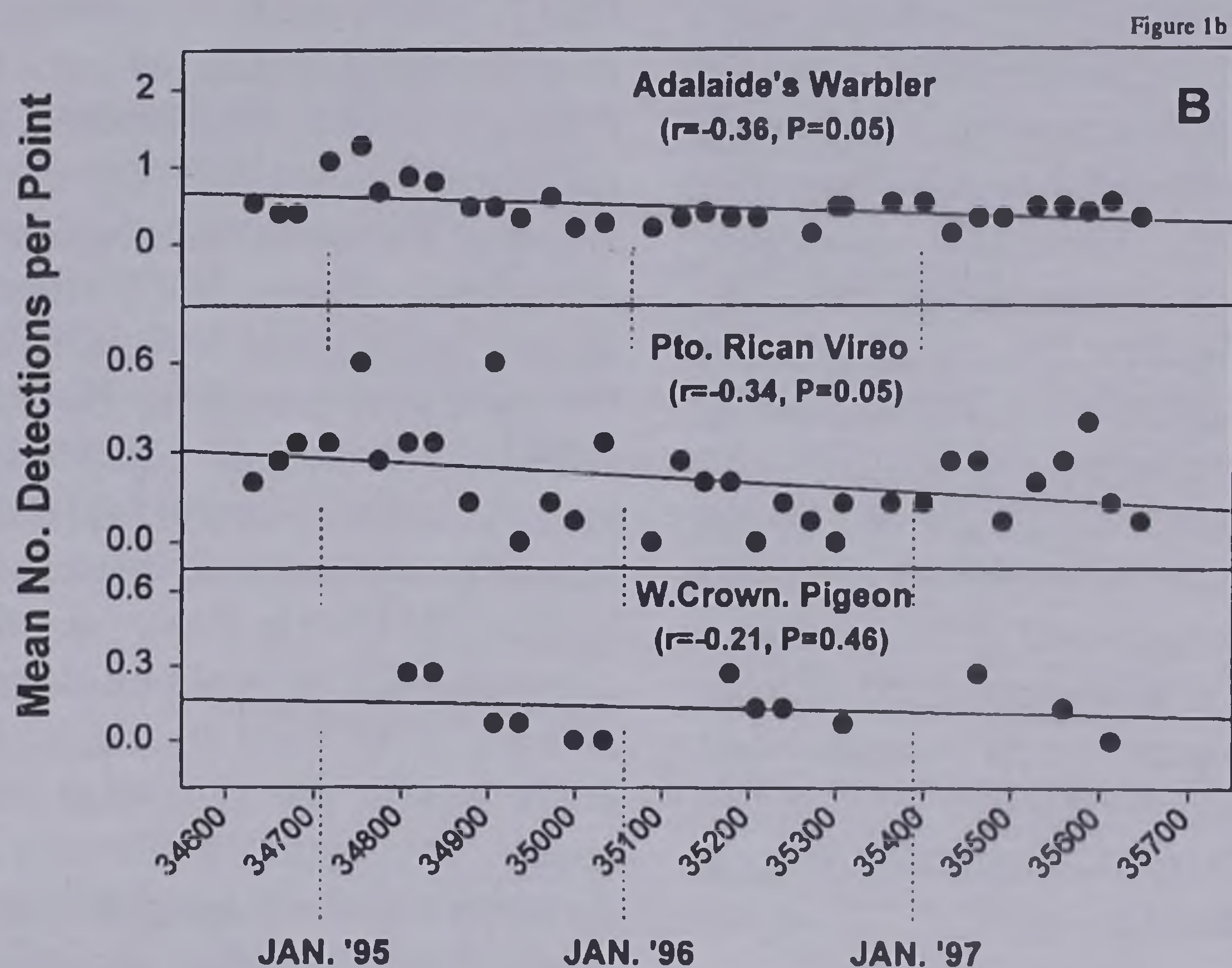
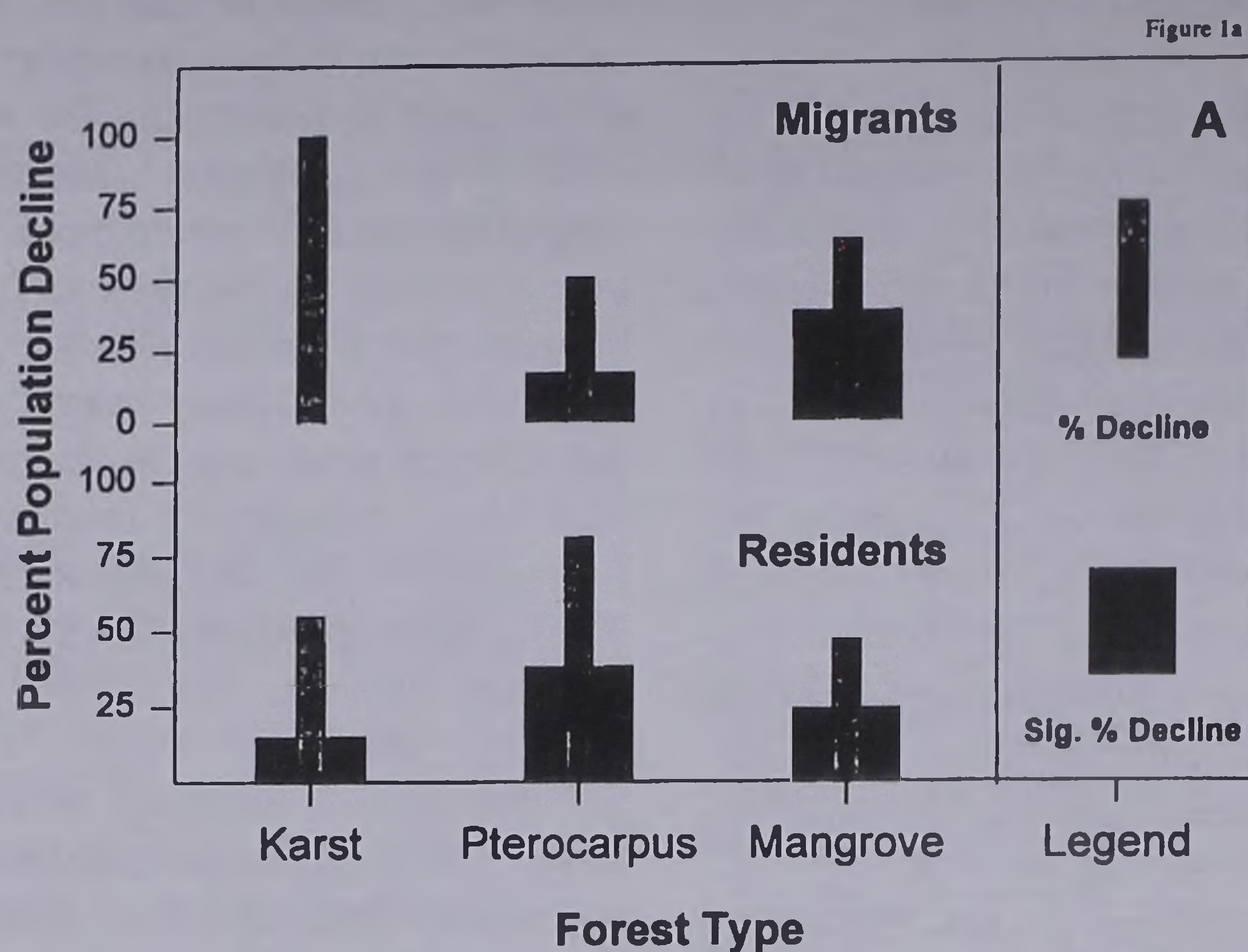


Figure 1a.—Population declines of resident and nearctic-neotropical migratory birds within three forested habitats (karst, pterocarpus, and mangrove) within the land holdings of the U.S. Navy's Security Activity near Sabana Seca, Puerto Rico. Significant ($\alpha = 0.05$, Spearman Rank Order Correlation) population declines were observed more frequently in resident and migratory birds in the two wetlands forests than in the more interior limestone karst forest. Results were derived from monthly fixed-radius point-count census data gathered between October 1994 and August 1997.

Figure 1b. —Population declines of a single-island endemic vireo, a 3-island endemic warbler, and a regional migrant and coveted gamebird in karst forest at the Sabana Seca Security Activity. Monthly point-count census dates were converted to this century's Julian dates on the abscissa. Both endemics are known hosts of the shiny cowbird, an introduced and well known avian brood parasite.

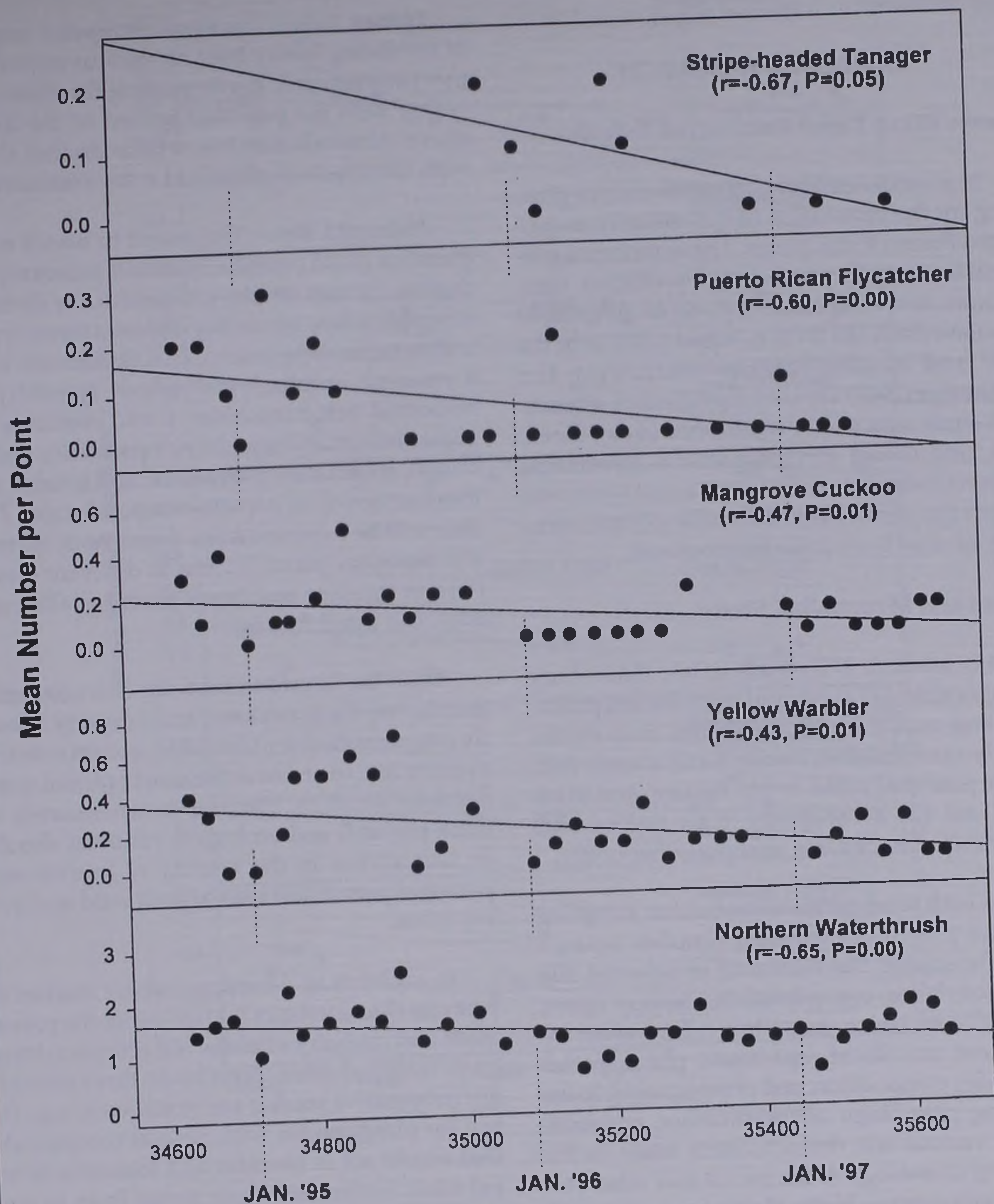


Figure 2. —Three species of residents and one migrant (northern waterthrush) showing significant population declines in *Pterocarpus* forest, Sabana Seca. In addition to the obvious yearly decrease in numbers, the more pronounced monthly cyclic population fluctuations, caused mainly by singing males during their reproductive periods, is evident in this and the other two figures depicting point-count results over the partial study period (October 1994 to August 1997).

authorship on the recently published "Birds of St. Kitts" (Steadman and others 1997), which was circulated in July.

PROPOSED RESEARCH

Puerto Rican Parrot Restoration Program

In accordance with long-term research planning for the restoration of the critically endangered Puerto Rican parrot, I have written a proposal to study its primary nest predators, competitors, and ectoparasites along an elevational gradient from sea level to about 1,300 m in the LEF and nearby forests. Following the Holdridge (1967) life zone classification scheme, four study sites will be established in dry, moist, wet, and dwarf forest along the elevational transect to include the various forest types into which the parrot may eventually expand naturally or may have to be reintroduced.

Avian and Mammalian Study

My research will consist of two main study components: (1) avian and mammalian predators and competitors for nest sites, namely the pearly-eyed thrasher, Puerto Rican screech-owl, other potential avian cavity nesters, and black rat, and (2) arthropods, e.g.; honey bee, Africanized honey bee, and philornid botfly.

In both studies, via microhabitat sampling around previously installed thrasher boxes, I will determine the relevance of selected site characteristics, e.g., elevation, canopy cover, sunlight, moisture, humidity, temperature inside and outside of nest boxes, plant species diversity, composition, and physiognomy, to the nesting phenology of the thrasher, and how these various site characteristics relate to the nesting phenology of the parrot and other forest cavity-nesting birds. Habitat sampling will also include biweekly assessment of flowering and fruiting of the thrasher's and parrot's preferred food plants and insect abundance in the immediate vicinity of active nest boxes.

Arthropod Studies

Honey Bee— The spatio-temporal impact of swarming honey bees on various reproductive parameters of cavity-nesting thrashers, together with the potential spread of the introduced African honey bee, will be studied along with the effects of philornid ectoparasitism.

Philornid Fly— The extent to which ectoparasites could potentially reduce parrot reproductive success among geographically distinct subpopulations inhabiting different forest types will be indirectly assessed. In collaboration with a research entomologist whose specialty is philornid ectoparasitism, I will continue to gather information on the ectoparasite's distribution, abundance, prevalence, and intensity at thrasher boxes on a spatio-temporal scale. The data will be collected from throughout current and potential parrot habitat at different elevations in thrasher nest boxes placed at alternate edge and interior sites.

Once the keystone nest-site characteristics that dictate the prevalence and intensity of botfly ectoparasitism are identified, certain criteria must be met to arrive at the most optimal management strategy. Similar measurements of these physical and ecological variables should be undertaken in the vicinity of known and potential parrot nest sites at both wild and aviary nests.

In addition to the micro-habitat studies of nest-site characteristics that influence the prevalence and intensity of philornid ectoparasitism on parrots and other forest birds, three secondary cooperative studies are envisioned, e.g.; (1) test for plant species with natural compounds that would act as biocides and toxicants to repel adult botflies and their larvae from in and around parrot nests (and those of other species), and inhibit or retard larval development, (2) determine which aspects of the ectoparasite's developmental stages are affected by the secondary metabolites in the identified and

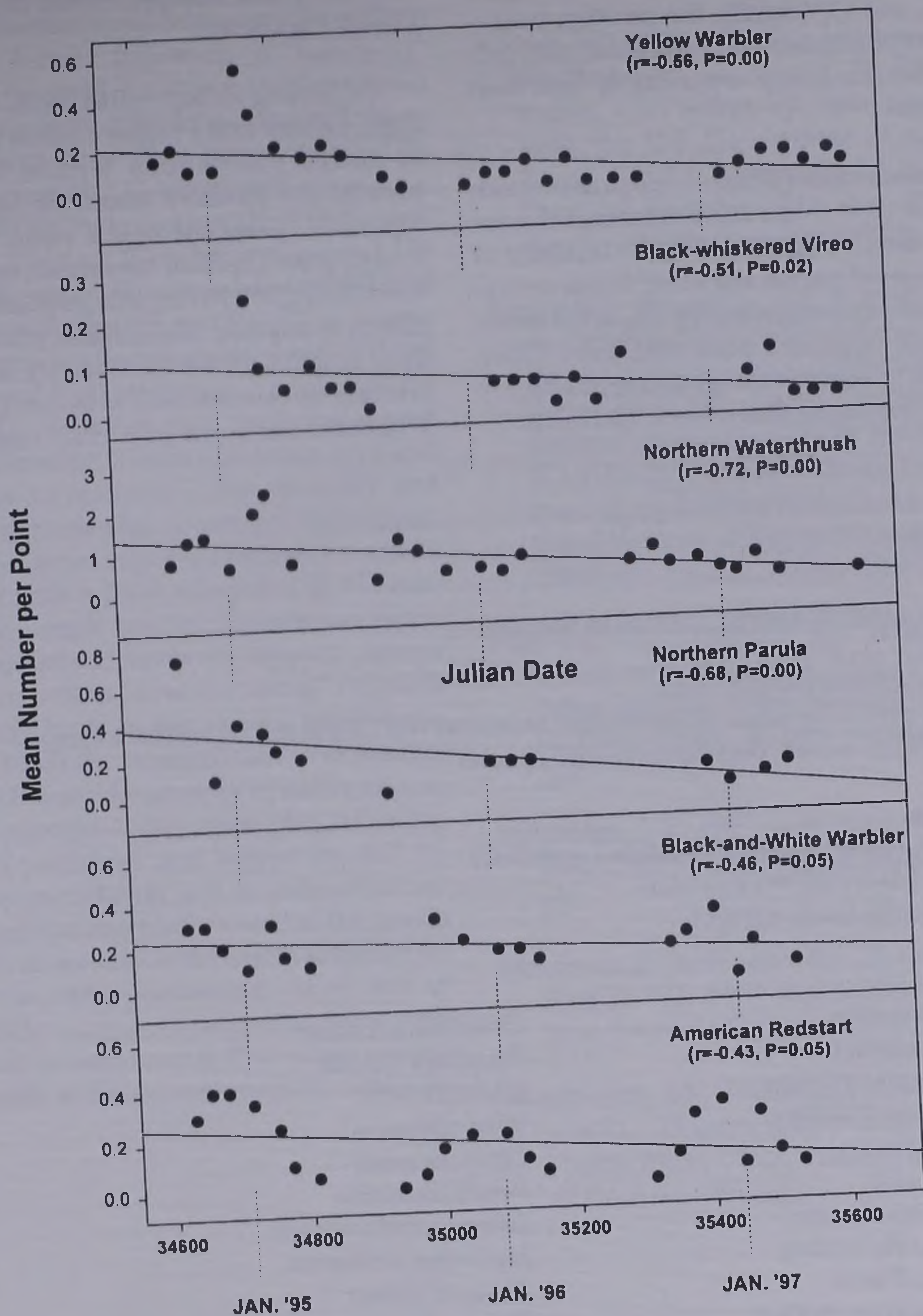


Figure 3. –Two species of residents (yellow warbler and black-whiskered vireo) and four species of migrants showing significant population declines in mangrove forest, Sabana Seca, Puerto Rico. Owing to the ample size of this mangrove forest along Puerto Rico's north coast, the observed significant decline of so many of its migratory birds was not anticipated.

pre-selected green vegetation to be used in parrot nests, and (3) identify the sensory, behavioral, environmental, and ecological cues ovipositing female botfly are using to find their avian hosts.

The information obtained from this research will enable us to make more meaningful management decisions germane to the recovery of the endangered parrot and other forest cavity-nesting birds by mitigating the impact of invertebrate and vertebrate pests that, even today, continue to affect the ecology and reproductive success of the parrot and other forest birds.

Migratory and Resident Birds in Nicaraguan Coffee Plantations

Beginning in September 1996, the Wildlife Team Leader and I began a series of site visits to coffee plantations within the Volcán Mombacho Reserve about 80 km south of Managua. Over the next 2 years, we will be studying the effects of conversion from conventional (inorganic) to organic plantations and the effects of ongoing silvicultural practices in the three systems on the biodiversity of migratory and resident birds as well as insects (Arendt and Wunderle 1997). In July 1997, I held a 2-day

APPENDIX

Scientific names of species treated in the text

Plants

Pterocarpus: *Pterocarpus officinalis*

Mangrove: primarily white (*Laguncularia racemosa*) with some red (*Rhizophora mangle*)

Karst: multiple, mostly deciduous mixed-species

Arthropods

Africanized Honey Bee (*Apis mellifera scutellata*)

Honey Bee (*Apis mellifera ligustica*)

Philornid Botfly (*Philornis* sp.)

Birds

Adelaide's Warbler

American Redstart

Black-and-white Warbler

Black-whiskered Vireo

Mangrove Cuckoo

Northern Parula

Northern Waterthrush

Puerto Rican Flycatcher

Puerto Rican Parrot

Puerto Rican Screech-Owl

Puerto Rican Vireo

Shiny Cowbird

Stripe-headed Tanager

White-crowned Pigeon

Yellow Warbler

Dendroica adelaidae

Setophaga ruticilla

Mniotilta varia

Vireo altiloquus

Coccyzus minor

Parula americana

Seiurus noveboracensis

Myiarchus antillarum

Amazona vittata

Otus nudipes

Vireo latimeri

Molothrus bonariensis

Spindalis zena

Columba leucocephala

Dendroica petechia

Mammals

Black Rat (*Rattus rattus*)

workshop in Managua consisting of lecture material, laboratory, and field exercises, with an additional 2-week follow-up of "hands-on" training in the field for about 15 Nicaraguan university students and professional biologists, some of whom have since been employed by our counterpart Non Governmental Organization, COCIBOLCA, to work with us on the coffee project. To date (October 1997) about 100 point-count census plots have been established in conventional, organic, and transition plantations. Our goal is to establish 210 points divided evenly among the 3 plantation types before the end of 1997. Mist net lines are being placed within the interior of each plantation type and its ectotone to compare avian diversity and abundance between the two microhabitat types. Already, two avian mist-net censuses have been conducted with a third scheduled in November 1997 to sample species richness and abundance of autumnal nearctic-neotropical passage migrants as well as "over wintering" migrants and resident birds in the various plantations. It is hoped that the establishment and maintenance of a balanced overstory of native and introduced nitrogen-fixing trees, plus curtailing the use of pesticides and herbicides, will increase species richness and abundance of migratory and resident birds as well as the insects that play a major role in the health and productivity of the coffee plantations. Avian and arthropod richness and abundance in coffee plantations will be compared to that within natural forest stands at the same elevations within the reserve.

LITERATURE CITED

- Arendt, W.J. 1985. Wildlife assessment of the southeastern peninsula, St. Kitts, West Indies. Río Piedras, PR: Final report on file with: the U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, P.O. Box 25000, Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000.
- Arendt W.J.; Wunderle, J.M., Jr. 1997. Comparison of avian diversity, abundance, and habitat use in shade coffee and broadleaf forest in the Volcán Mombacho Reserve: an international cooperative study. Study Plan FS-SO-4151-2515 on file with: the U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, P.O. Box 25000, Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000.
- Faaborg, J.; Dugger, K.; Arendt, W.J.; Woodworth, B.L.; Baltz, M.E. 1997. Population declines of the Puerto Rican Vireo in Guánica Forest. *Wilson Bulletin*. 109: 195-202.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center. 206 pp.
- Steadman, D.W.; Norton, R.L.; Browning, M.R.; Arendt, W.J. 1997. Birds of St. Kitts. *Caribbean Journal of Science*. 33: 1-20.
- Woodworth, B.L.; Faaborg, J.; Arendt, W.J. [In press]. Dispersal and longevity in the Puerto Rican Vireo, *Vireo latimeri*. *Journal of Field Ornithology*.

THE GROWTH FORM OF DRY FOREST TREES

Brian K. Dunphy

University of Georgia

Peter G. Murphy

Michigan State University

and

Ariel E. Lugo

International Institute of Tropical Forestry

In the dry forest life zone of southwestern Puerto Rico and other islands of the Caribbean, the forests that occur within several kilometers of the coast are characterized by large numbers of small-diameter, multiple-stemmed trees. Our study addressed the question of whether the growth form of these trees is natural or a relict of the extensive disturbance to which the forests have been subjected for well over a century. The focus of study was Guánica Forest, a reserve

protected by the Commonwealth of Puerto Rico for over 60 years. Studies were confined to the deciduous forest type at an elevation of approximately 175 m, 2 km inland on a south-facing slope of 13 to 14°.

Nine dominant tree species and two common understory shrubs were examined within a 1.44-ha study site originally established for studies of forest biomass, regeneration, and

Table 1. —Tree species with the nine highest importance values (I.V.) (relative frequency + relative density + relative dominance) for plant species having a d.g.h. equal to or greater than 2.5 cm in 10 x 10-m plots located in the 1.44 ha main site (adapted from Murphy and Lugo 1986b). The last two species are common understory shrub species in Guánica Forest.

Rank	Species	I.V. ^a	Relative frequency	Relative density	Relative dominance
1	<i>Gymnanthes lucida</i>	43.51	8.15	21.52	13.84
2	<i>Exostema caribaeum</i>	25.16	8.76	7.28	9.12
3	<i>Pisonia albida</i>	22.46	5.87	4.38	12.21
4	<i>Pictetia aculeata</i>	21.47	5.26	10.19	6.02
5	<i>Thouinia portoricensis</i> ^{a,b}	21.00	5.26	10.68	5.06
6	<i>Coccoloba, k & m</i> ^{b,c}	19.78	5.87	7.61	6.30
8 ^{c,d}	<i>Bursera simaruba</i>	11.70	5.26	1.15	5.29
9	<i>Erithalis fruticosa</i>	9.97	3.50	3.83	2.64
10	<i>Guettarda krugii</i>	9.75	2.37	2.03	1.12
23	<i>Eugenia foetida</i>	3.59	2.37	0.66	0.56
n.r. ^{d,e}	<i>Croton humilis</i>	—	—	—	—
	Total	188.39			

^aImportance value.

^bNow classified as *Thouinia striata* var. *portoricensis*.

^c*Coccoloba krugii* and *microstachya*.

^dRank 7 is held by the cactus, *Cephalocereus royenii*.

^eNot ranked. Most *Croton humilis* shrubs are shorter than 1.4 m in height (hence have no d.g.h.) and at their thickest, are usually less than 2.5 cm in diameter. Hence, they did not receive an I.V. rank despite their widespread occurrence.

Table 2. —Average number of stems in seven different d.g.h. size classes. Standard errors of the mean are in parentheses.

Species		D.G.H. Size classes (cm)						
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-10	>10 ^a
<i>Gymnanthes lucida</i>	Average:	1.2 (.2)	1.4 (.4)	1.6 (.3)	1.8 (.6)	2 (.5)	2 (.5)	4.4 (.7)
	Max/Min:	2/1	3/1	3/1	4/1	4/1	4/1	6/3
	n:	5	5	7	5	7	10	5
<i>Exostema caribaeum</i>	Average:	1 (0)	1.2 (.2)	1 (0)	1 (0)	1.4 (.4)	1.2 (.2)	2.2 (.8)
	Max/Min:	1/1	2/1	1/1	1/1	3/1	2/1	5/1
	n:	5	6	5	5	5	5	5
<i>Pisonia albida</i>	Average:	—	—	1	1 (0)	1 (-)	1.6 (.4)	3.5 (1.5)
	Max/Min:	—	—	1/1	1/1	1/1	3/1	11/1
	n:	0	0	1	3	1	5	6
<i>Pictetia aculeata</i>	Average:	—	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1.3 (.2)	2.6 (.5)	4.6 (1.5)
	Max/Min:	—	1/1	1/1	1/1	2/1	4/1	10/2
	n:	0	2	4	5	6	5	5
<i>Thouinia striata</i> var. <i>portoricensis</i>	Average:	1 (-)	1.3 (.3)	1.7 (.3)	1.5 (.5)	2.8 (.5)	3.7 (.7)	11.6 (4.3)
	Max/Min:	1/1	2/1	2/1	2/1	4/2	6/1	26/2
	n:	1	4	3	2	4	6	5
<i>Coccoloba krugii</i>	Average:	1.8 (.5)	2.3 (.6)	3 (0)	4 (-)	4.5 (1.5)	6.2 (1.3)	20.6 (4.3)
	Max/Min:	3/1	4/1	3/3	4/4	6/3	11/3	34/8
	n:	5	6	2	1	2	5	5
<i>Erithalis fruticosa</i>	Average:	1.8 (.6)	1 (0)	2 (.5)	2.8 (.5)	4.6 (.8)	5.2 (1.1)	7.8 (1.2)
	Max/Min:	4/1	1/1	3/1	4/1	6/2	9/3	12/5
	n:	5	5	5	5	5	5	5
<i>Guettarda krugii</i>	Average:	1 (0)	1.6 (.6)	1.4 (.2)	2.3 (.5)	1.6 (.4)	3.8 (1.5)	10 (1)
	Max/Min:	1/1	4/1	2/1	4/1	3/1	8/1	11/9
	n:	5	5	5	6	5	4	2
<i>Croton humilis</i>	Average:	1.1 (.1)	1.2 (.1)	1.8 (.4)	3.5 (.9)	—	5 (-)	—
	Max/Min:	2/1	4/1	3/1	6/2	—	5/5	—
	n:	10	34	6	4	0	1	0
<i>Eugenia foetida</i>	Average:	1.1 (.1)	1.3 (.2)	2.4 (.6)	1.5 (.5)	—	2 (.6)	—
	Max/Min:	2/1	4/1	4/1	2/1	—	3/1	—
	n:	10	20	5	2	0	3	0

^aThe large jump in the number of stems seen in some species for the >10 cm in d.g.h. size class is due to very large individuals with large numbers of stems.

tree growth. The 11 woody species studied for growth-form accounted for approximately two-thirds of the total woody-species importance value of 300 (table 1). With the exception of *Bursera simaruba*, all studied species were represented by multiple-stemmed individuals, the number of stems increasing as plant diameter at ground height (d.g.h.) increased (table 2) and as tree height increased (fig. 1). Observations were made on plant features that may have represented evidence for or against cutting or other disturbance, such as presence or absence of stump and presence or absence of central main stem. The percentages of multi-stemmed trees, by species, that retained the original main stem are shown in table 3.

Overall, results clearly suggested that the multi-stemmed growth form occurs naturally for at least 9 of the 11 species. Among the strongest evidence was the persistence of

original main stems in 19.9 percent of multiple-stemmed trees and the presence of small multiple-stemmed trees (20.7 percent of saplings below 3-cm in d.g.h., which were considered too young to have been present during the time that cutting and grazing were still occurring in the forest.

All considered, the structure of the forest at the Guánica Forest study site, including the prevalence of multiple-stemmed trees, appears to be natural for the region rather than a manifestation of past disturbance. This enhances the value of Guánica Forest as a benchmark ecosystem, against which more disturbed dry forest examples may be compared. Additional detail on dry forest tree morphology and possible causal factors may be found in Dunphy (1996).

Approximately 4 months were spent in the field (Guánica Forest) in support of this project.

Table 3. —Tree growth-form properties inconsistent with cutting for the eleven study species: (a) the percentage of multi-stemmed trees (all size classes included) with an original main stem; (b) the percentage of saplings in 0-3 cm or 0-5 cm in d.g.h. size classes, which possessed multiple stems.

Species	(a) percent with original main stem	n	(b) percent with mult. stems in d.g.h. size classes		n
			0-3 cm	0-5 cm	
<i>Gymnanthes lucida</i>	32	19	33	37	18, 30
<i>Exostema caribaeum</i>	80	5	6	8	16, 26
<i>Pisonia albida</i>	14	7	0	0	1, 5
<i>Pictetia aculeata</i>	0	11	0	12	6, 17
<i>Thouinia striata</i> var. <i>portoricensis</i>	17	18	38	57	8, 14
<i>Coccoloba krugii</i>	5	21	62	69	13, 16
<i>Bursera simaruba</i> ^a	--	--	--	--	--
<i>Erithalis fruticosa</i>	21	24	33	56	15, 25
<i>Guettarda krugii</i>	14	14	20	35	15, 26
<i>Croton humilis</i>	25	12	14	20	50, 54
<i>Eugenia foetida</i>	30	10	20	22	35, 37

^aAll *B. simaruba* trees in the present study were single stemmed.

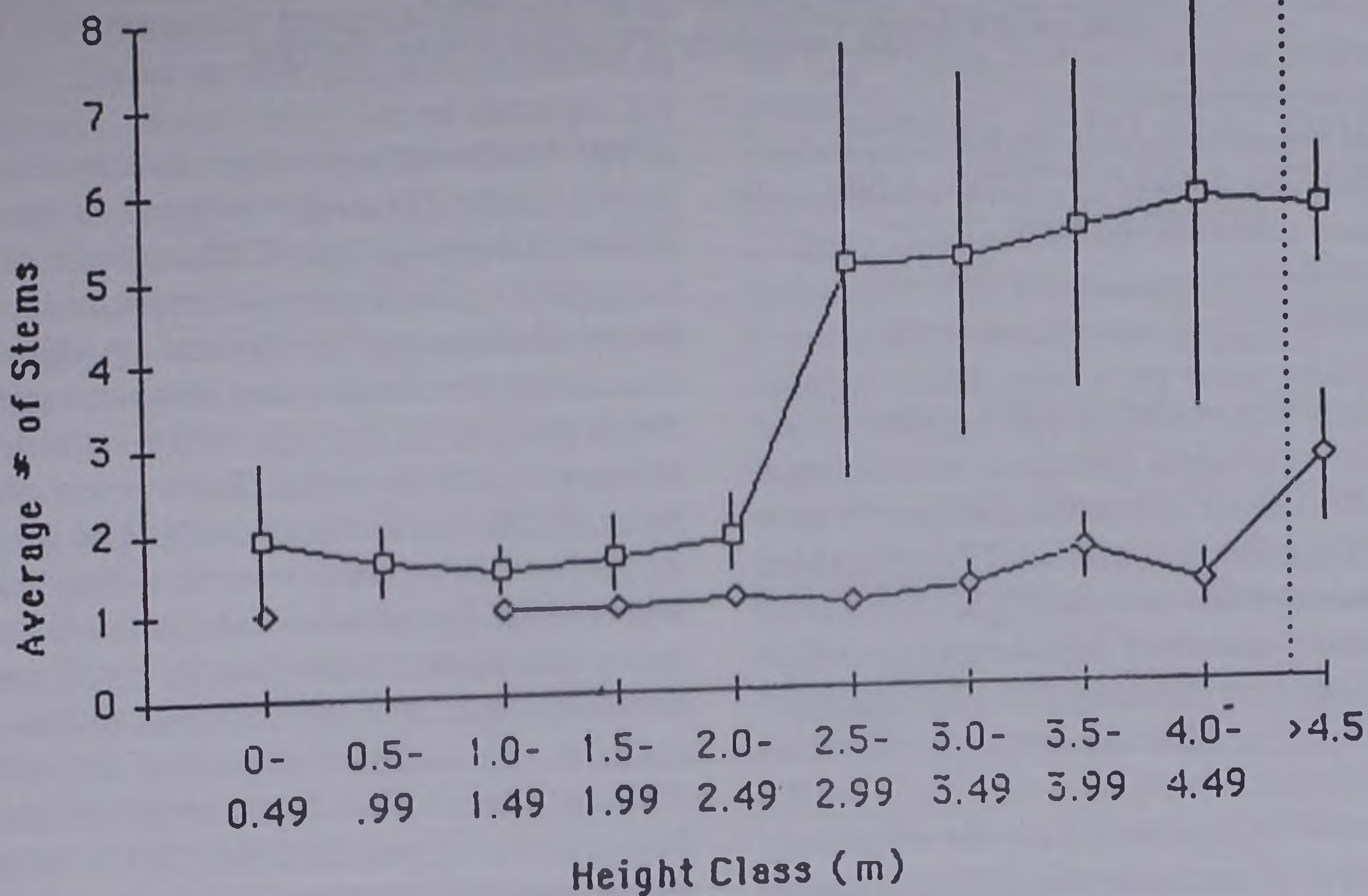


Figure 1. -Average numbers of stems per tree in 0.5 m height classes. The overstory tree species were separated into two groups for this comparison. The first group (—□—) is comprised of species which are multi-stemmed in all d.g.h. size classes (*G. lucida*, *Thouinia striata* var. *portoricensis*, *C. krugii*, *E. fruticosa*, and *G. krugii*). The second group (—◇—) is comprised of species which are single stemmed in small d.g.h. size classes, with multiple stems appearing mostly in larger size classes (*E. caribaeum*, *P. albida*, *P. aculeata*). The dotted line marks the average height of the canopy (4.4 m).

A presentation of preliminary results was made at the 1995 annual meeting of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters (Dunphy and others 1995). A manuscript is in preparation for Tropical Ecology.

LITERATURE CITED

Dunphy, B.K. 1996. The multiple-stemmed growth form of trees in a subtropical dry forest. Michigan State University. 93 p. M.S. Thesis.

Dunphy, B.K.; Murphy, P.G.; Lugo, A.E. 1995. The architecture of multiple-stemmed trees in a subtropical dry forest. In: Program for the annual meeting of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters. [Abstract].

PRINGLE LAB GROUP

*C. Pringle, J. Benstead, and J. March
Institute of Ecology University of Georgia Athens, Georgia*

SHRIMP MIGRATION, EFFECTS OF WATER ABSTRACTION, AND MITIGATION

STRATEGIES

The migration of shrimps along stream corridors creates a critical linkage between tropical rivers and their estuaries. Research conducted during the summer of 1995 provided critical baseline information on: (a) the spatial and temporal patterns of larval shrimp drift in two catchments of the Luquillo Experimental Forest (LEF) - the Mameyes and the Espíritu Santo (March and others, in review); and (b) the effects of water withdrawals on the migratory drift of larval shrimps in the Espíritu Santo (Benstead and others, in review). Our results indicate that both downstream larval drift and upstream migration of swimming postlarvae have strong diel patterns, with most activity occurring at night (March and others, in review). Water withdrawals at the Espíritu Santo dam resulted in mortality of drifting shrimp larvae by entrainment into the water intake. During a 70-day study period in 1995, 59 percent of the larvae suffered direct mortality. During low discharge, 100 percent mortality was experienced. Modeling (using a 30-yr discharge record) estimated long-term mean daily entrainment mortality at 52 percent with a possible reduction of 17 to 28 percent if water abstraction was halted during evening periods of peak drift (Benstead and others, in review). Our recommendations for mitigation therefore include 3 to 5-hr stoppages in water abstraction during peak nocturnal larval drift, as well as the upkeep of functional fish ladders and the maintenance of minimum flows over dams (Benstead and others, in review).

The objectives of a more recent investigation conducted during the summer of 1996 were to: (a) quantify the upstream migration of post-

larval freshwater shrimps in the aforementioned rivers; (b) measure input of first-stage larvae during migratory drift into estuaries; and (c) provide the first information on larval survival rates under natural conditions by examining distribution and size-class spectra of developing larval shrimps within estuaries. The Mameyes and Espíritu Santo were also the focus of this more recent study. The Mameyes is the last undammed river draining the LEF, whereas the Espíritu Santo has a low head dam and water intake located on its main stem approximately 4 km from the coast at 5 m above sea level. We sampled migratory drift of larval shrimps using Miller-type samplers that were placed at the upper tidal limit in the Mameyes and approximately 750 m downstream of the dam in the Espíritu Santo (18 nights, 3 samples per night). The Mameyes estuary was sampled for larval stages on two occasions; the Espíritu Santo estuary was sampled only once. Seven stations were chosen in each estuary between the upper tidal limit and the river mouth. At each station, we took vertical plankton tows through the entire water column at the river margin (2-3 m from the bank) and in the center of the channel. Density of larvae was expressed as larvae per cubic meter of water sampled. We sampled upstream migration of metamorphosed larvae using a recently developed trapping method on 30 nights for each river (4-6 traps per river). Traps were tethered with stakes in shallow riffle areas close to the bank at the tidal limit in the Mameyes and above the dam in the Espíritu Santo; numbers of postlarvae were expressed as mean number caught per trap.

The distribution and density of larval shrimps within the two estuaries were extremely variable between sampling dates and stations. Larval densities in the Espíritu Santo estuary were highest at the upper tidal limit and decreased towards the river mouth. Densities

of larvae in the Mameyes estuary differed between sampling dates and showed no clear pattern in distribution. Densities of larvae were generally lower in margin habitat than in mid-channel habitat. Most larval shrimps (79 to 98 percent) were in the smallest size-class (<1 mm carapace length). Three size classes were found in the Espíritu Santo estuary. Two size classes were present during the first Mameyes sampling date and five, during the second sampling occasion.

Numbers of migrating postlarvae were markedly higher in the Mameyes than in the Espíritu Santo. The relative postlarval abundance of the three genera differed between the streams. The most commonly caught postlarvae in the Espíritu Santo were *Atya* spp., followed by *Xiphocaris* and *Macrobrachium* spp. In contrast, postlarvae trapped in the Mameyes were predominantly *Macrobrachium* spp. and *Xiphocaris*, with *Atya* spp. occurring quite rarely. Numbers of migrating *Macrobrachium* spp. and *Xiphocaris* were far higher in the Mameyes than the Espíritu Santo; only in abundance of *Atya* did the Espíritu Santo exceed the Mameyes.

This is the first study to quantify relative rates of upstream migration of postlarval freshwater shrimps. Although estimations of total numbers of migrating postlarvae are difficult to make based on the trapping technique used, comparisons between the two rivers showed clear differences in the magnitude of upstream migration of postlarvae. Numbers of migrating postlarvae were much higher in the free-flowing Mameyes than in the dammed Espíritu Santo. This indicates that the combined direct (larval entrainment) and indirect (freshwater input reductions) effects of water abstraction may be affecting recruitment of postlarvae into adult populations in the Espíritu Santo.

EFFECTS OF FISHES AND SHRIMPS ON COMMUNITY STRUCTURE AND ECOSYSTEM PROCESSES

Tropical streams are typically characterized by an abundance of omnivorous fishes and shrimps; however, little is known about the

relative roles of these macroconsumers in structuring stream communities. Studies conducted during the summer of 1994 examined the hypothesis that differences in macrobiotic assemblages can lead to differences in organic matter processing among streams in the LEF (Pringle and others, in review). Results showed a strong linkage between stream communities and ecosystem processes: interstream differences in the quantity and quality of fine benthic organic matter resources were determined by the nature of the macrobiotic assemblage. Streams dominated by high shrimp densities were characterized by low levels of benthic organic matter. Furthermore, patterns in the distribution of high biomass shrimp communities reflected landscape patterns in the benthic depositional environment and algal standing crop (Pringle 1996) among streams.

We are also conducting studies of fish and shrimp effects on benthic community structure along the river continuum. Streams draining the LEF are often dominated by shrimps in high gradient headwaters and both shrimps and fishes in lower reaches; yet, little is known how these zonation patterns affect ecosystem processes such as decomposition and primary production. This research is being done along the Espíritu Santo and forms the basis of the dissertation project of James March who is supported by the U.S. Department of Agriculture, Forest Service and an NSF dissertation improvement grant. March is addressing the following questions: (1) Do omnivorous fishes and shrimps significantly affect patterns of sediment accrual (i.e., benthic depositional environment)? (2) Do trophic cascades occur when omnivorous fishes and shrimps are excluded? (3) How do effects of fishes and shrimps vary along the stream continuum? This portion of our research is providing information on the role of omnivory in structuring tropical stream communities and promises to enhance our ability to predict how these stream ecosystems respond to disturbance.

During the summer of 1996, March used electricity to manipulate the access of shrimps and fishes to leaf packs of *Cecropia scheberiana*

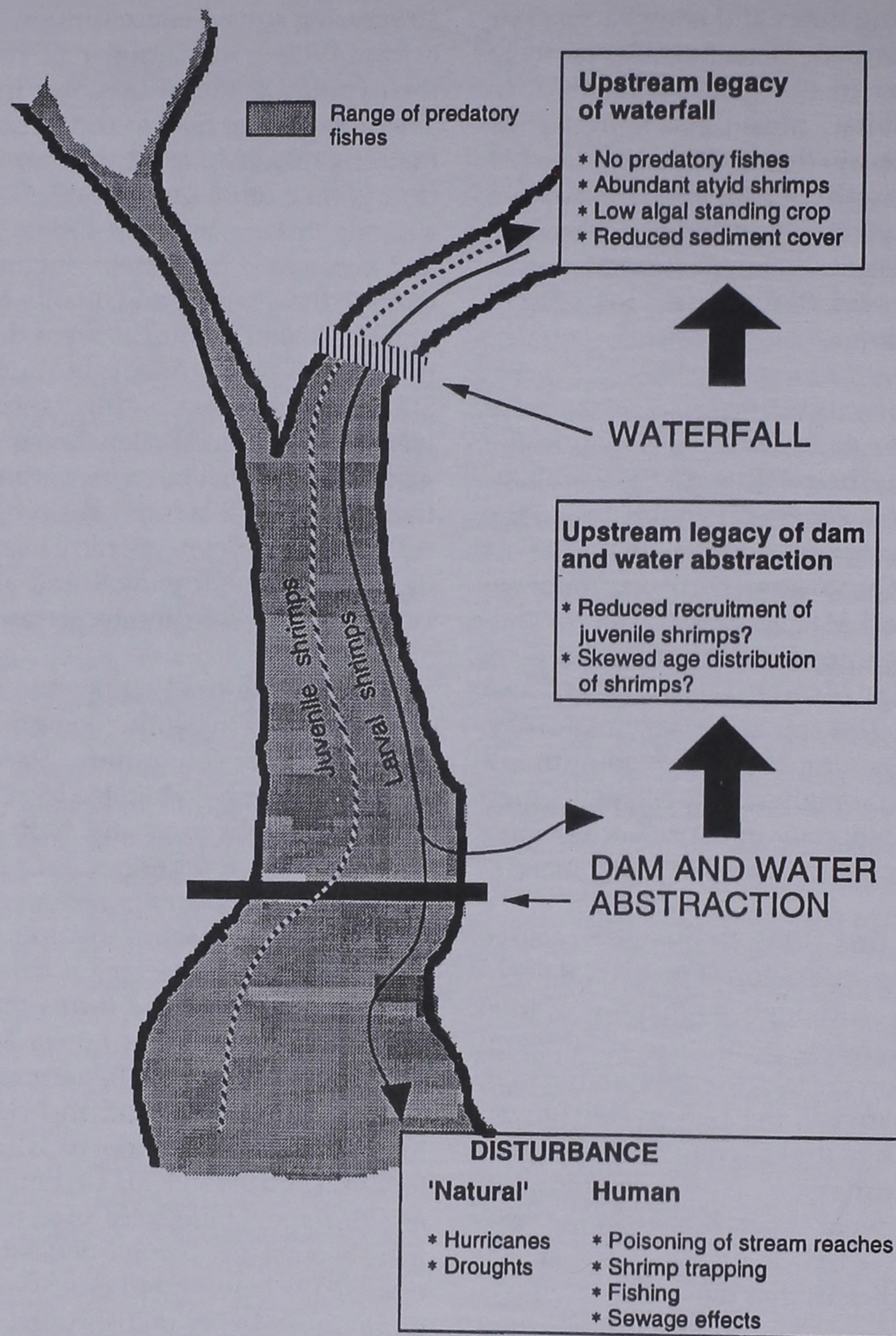


Figure 1. –Schematic diagram of the Rio Espiritu Santo, Puerto Rico, illustrating observed and potential downstream-upstream effects. Barriers, both natural (waterfalls) and artificial (dams and associated water abstraction), act as selective filters along the stream continuum, modifying the distribution of biota upstream. Superimposed on the upstream legacies created by these filters are the legacies created by interactive effects of both natural (hurricanes and droughts) and artificial (stream poisoning events, fishing, shrimp trapping, pollution) disturbances (Pringle 1997a).

at three sites along the Espíritu Santo River (March and others 1997). The experimental design consisted of two treatments (fish/shrimp access and fish/shrimp exclusion) with five replicates per treatment at each of three sites along the continuum (10, 90, and 300 m.a.s.l.). The percentage of weight remaining from leaf packs was measured 7 times throughout a 30-day experiment. At the high elevation site, the rate of leaf breakdown was significantly ($p = 0.019$) greater in the presence of natural densities of shrimps (mean $k = 0.067 \text{ day}^{-1}$) than in their absence (mean $k = 0.036 \text{ day}^{-1}$). In contrast, at both the mid-and low-elevation sites, the presence of macrobiota had no significant effect on the rate of leaf breakdown. Results indicate that shrimp communities in the headwaters, where allochthonous leaf material dominates energy inputs, play an important role in leaf breakdown.

During the summer of 1997, March used the electric exclusion technique to examine the effects of fishes and shrimps on algal standing crop and community composition, insects, and sediment accrual along the Espíritu Santo continuum.

STREAM PARADIGMS, CONSERVATION, AND DEVELOPMENT OF FRESHWATER RESOURCES

The research described above has contributed to our conceptual understanding of how streams function by forcing us to address how disturbance is transmitted upstream (Pringle 1997a). While the River Continuum Concept and other stream paradigms emphasize that downstream communities are a function of upstream processes, it is clear that alterations to streams in their lower reaches can produce effects in upstream reaches on levels from genes to ecosystems (Pringle 1997a). To what extent are stream biota and associated ecological processes in highland streams of the LEF in Puerto Rico a legacy of water withdrawals (and associated losses in shrimp and/or fish recruitment) in the lowlands (fig. 1)?

We have also placed our research into the broader context of conservation (Pringle 1997 b,c). We discuss our findings in the context of freshwater resource development in Latin America and the Caribbean in two chapters (Pringle and Scatena, in press) of a new book on tropical managed ecosystems. The conflict between human water use and the retention of biological integrity in streams of the LEF is presented as a case study.

REFERENCES

- Benstead, J.P.; March, J.C.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. Effects of water abstraction and damming on migratory tropical stream biota: simulation modeling and mitigation strategies. Manuscript in preparation.
- March, J.G.; Benstead, J.P.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. Migratory drift of freshwater shrimps in two tropical streams, Puerto Rico. Manuscript in preparation.
- March, J.G.; Benstead, J.P.; Pringle, C.M.; Ruebel, M. 1997. Effects of fishes and shrimps on leaf breakdown along a tropical river continuum, Puerto Rico. [Abstract]. North American Benthological Society Meetings, San Marcos, Texas.
- Pringle, C.M. 1996. Atyid shrimps (Decapoda: Atyidae) influence the spatial heterogeneity of algal communities over different scales in tropical montane streams, Puerto Rico. *Freshwater Biology*. 35: 125-140.
- Pringle, C.M. 1997a. Exploring how disturbance is transmitted upstream: going against the flow. *Journal of the North American Benthological Society*. 16: 425-438.
- Pringle, C.M. 1997b. Expanding scientific research programs to address conservation challenges in freshwater ecosystems. In: Pickett, S.T.A.; Ostfeld, R.S.; Shachak, M.; Likens, G.E., eds. *Enhancing the ecological basis of conservation: heterogeneity, ecosystem function and biodiversity*. New York: Chapman and Hall: 305-319.

Pringle, C.M. 1997c. Fragmentation in stream ecosystems. In: Meffe, G.; Carroll, R., eds. *Principles of Conservation Biology*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc., 289-290.

Pringle, C.M.; Scatena, F.N. [In press]. Factors affecting aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. In: Hatch, U.; Swisher, M.E., eds. *Tropical managed ecosystems: New perspectives on sustainability*. London: Oxford University Press.

Pringle, C.M.; Scatena, F.N. [In press]. Freshwater resource development: Case studies from Puerto Rico and Costa Rica. In: Hatch, U.; Swisher, M.E., eds. *Tropical managed ecosystems: New perspectives on sustainability*. London: Oxford University Press.

Pringle, C.M.; Hemphill, N.H.; McDowell, W.; Bednarek, A.; March, J. Linking communities and ecosystems: Effects of macrobiota on benthic organic matter in tropical streams. Manuscript in preparation.

CHEMICAL AND PHYSICAL CONTROLS ON SURFACE NITROUS OXIDE FLUXES OVER THE COURSE OF STORM EVENTS IN THE RÍO ICACOS BASIN

Claire P. McSwiney
University of New Hampshire, Durham, NH

Trace gas fluxes vary temporally and spatially. In order to make better predictions with global models, we need to quantify this variability and determine the underlying mechanisms. To address the spatial and long-term temporal components of variability, nitrous oxide fluxes have been studied across three catenas in the Río Icacos Basin: in the ridge, slope-ridge break, slope, slope-riparian break, riparian, and streambank environments. In two of the sites, the slope-riparian break and the riparian zone had the highest fluxes, and, in the third, these environments had the lowest fluxes.

Studies of short-term temporal variability through monitoring of changes in surface flux over the course of storm events will be discussed in this report. The focus for this study is, for several reasons, on the slope-riparian break. Nitrous oxide fluxes were highest in this environment during the surface flux survey. In other studies, the slope-riparian break has been shown to be the key point on the landscape for nitrogen removal before the stream. We expect stimulation of surface nitrous oxide fluxes during storms due to enhancement of environmental conditions for denitrification, via delivery of nitrate and carbon to a zone of production and increased anaerobiosis as soils become saturated.

Six surface flux chambers were randomly placed in a grid in the slope-riparian break of one of the three surface survey sites. Nitrous oxide fluxes were measured using a static chamber technique as frequently as possible during storm events. Three sets of soil-air probes were installed in this environment. Depths were chosen based on the redox status, determined by color differences seen at the time of installation. Soil-air probes were sampled after each flux determination. Tension lysimeters were installed at — and cm — to sample depths

similar to those sampled by the soil-air probes. The lysimeters were sampled less frequently than chambers or probes because of the lag time required to generate sufficient sample for analyses. Depth to the water table was measured by hand before and after each flux measurement. Six storms were studied over the fall of 1996.

Fluxes in the six chambers varied during each storm, but not synchronously (fig. 1). One chamber had consistently higher fluxes than the other five. Soil-air nitrous oxide concentrations did not change over the course of any of the storms studied at any depth (fig. 2). Nitrate concentrations did not change over the course of any storm; however, there appears to be a general decrease in concentration over the period studied (fig. 3). Water table heights appear to follow the general pattern seen in the precipitation record over the course of the study (fig. 4).

There are several possible explanations for the lack of response in surface nitrous oxide fluxes to storm events. The six surface flux chambers may have been situated along different flow paths, which resulted in responses that occurred at different times. Another possibility is that substrate concentrations did not change during the storms as can be seen in the nitrate data. The water table may have been high throughout the storm study, resulting from one of two situations. Soil conditions could have been so anaerobic that the main product of denitrification was dinitrogen and not nitrous oxide. In the other situation, substrates and the zones of production could have been spatially segregated so that high nitrate and carbon water flowed along a pathway that bypassed the zone where the denitrifying microbial population existed. A final explanation could be that nitrous oxide was produced in the soil; however, soil water prevented upward diffusion to the soil surface.

Figure 1. -Upper panel (same for all figures). Daily precipitation for the Río Icacos basin (mm). Triangles represent the first time point sampled for each storm. Lower panel. Surface nitrous oxide fluxes for six storms plotted for individual chambers.

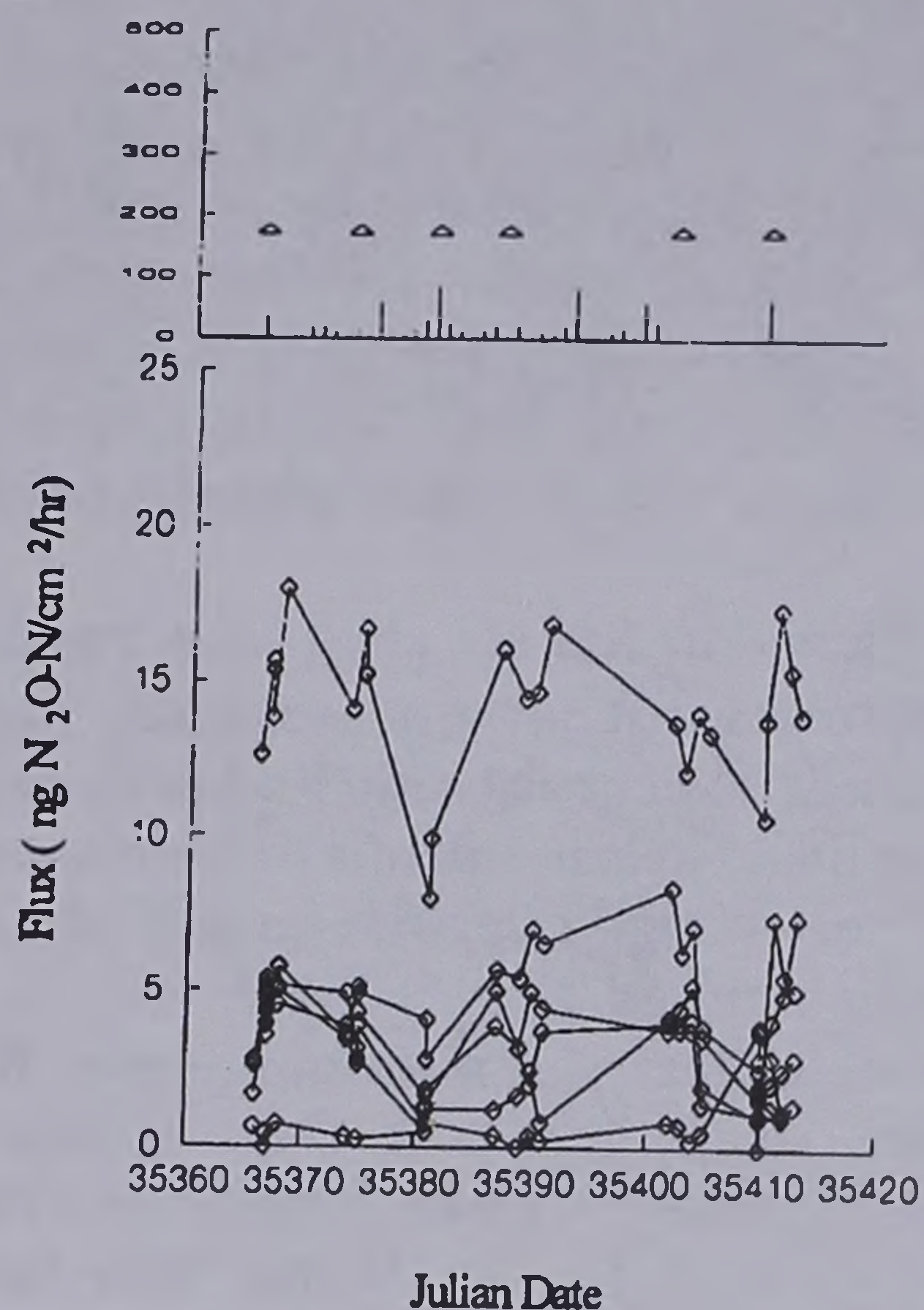


Figure 2. -Lower panel. Soil nitrous oxide mixing ratios for three depths in one of the soil probe installations over the course of the storm study.

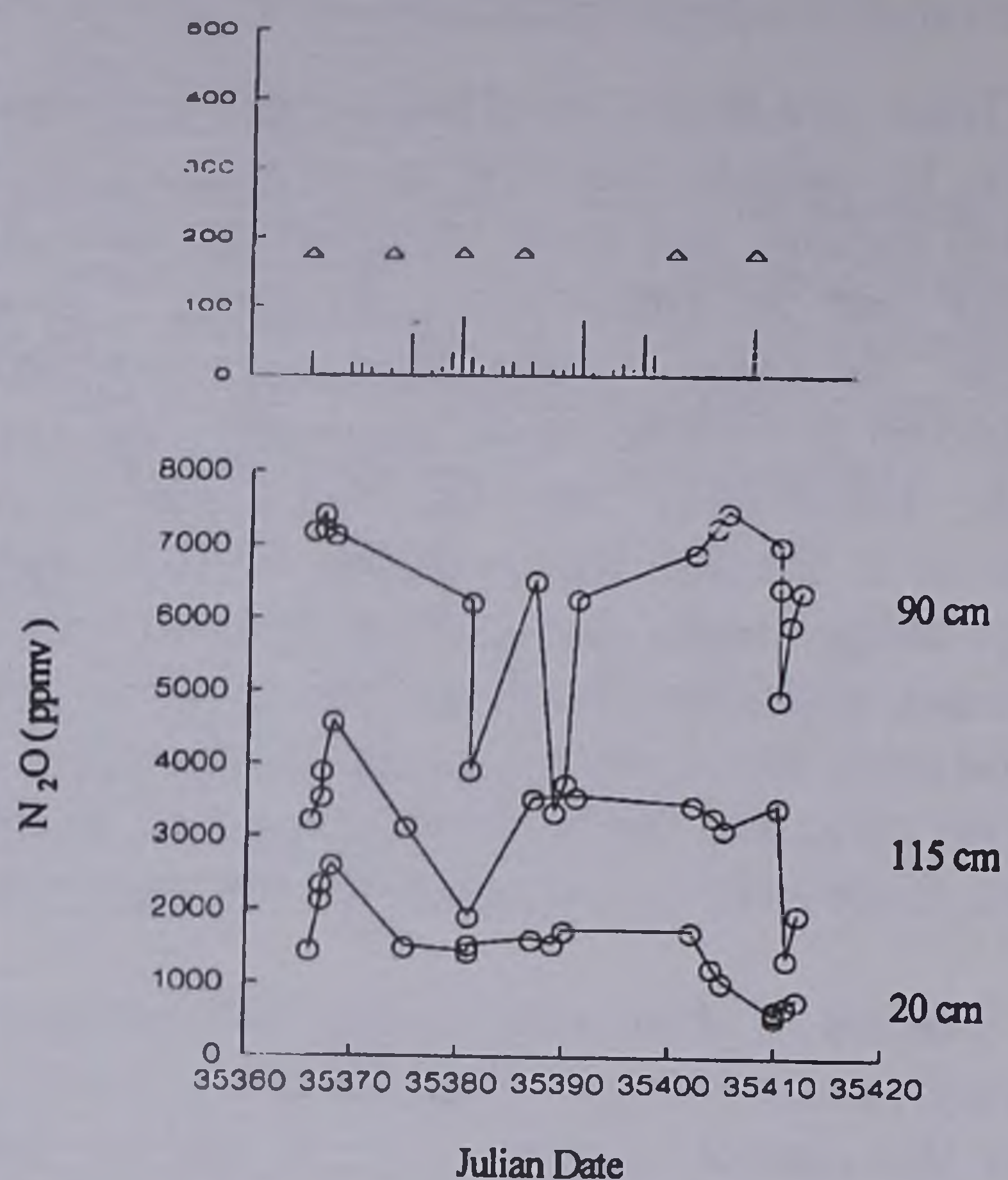


Figure 3. -Lower panel. Soil water nitrate concentrations from lysimeter at 10 cm depth over the course of the storm study.

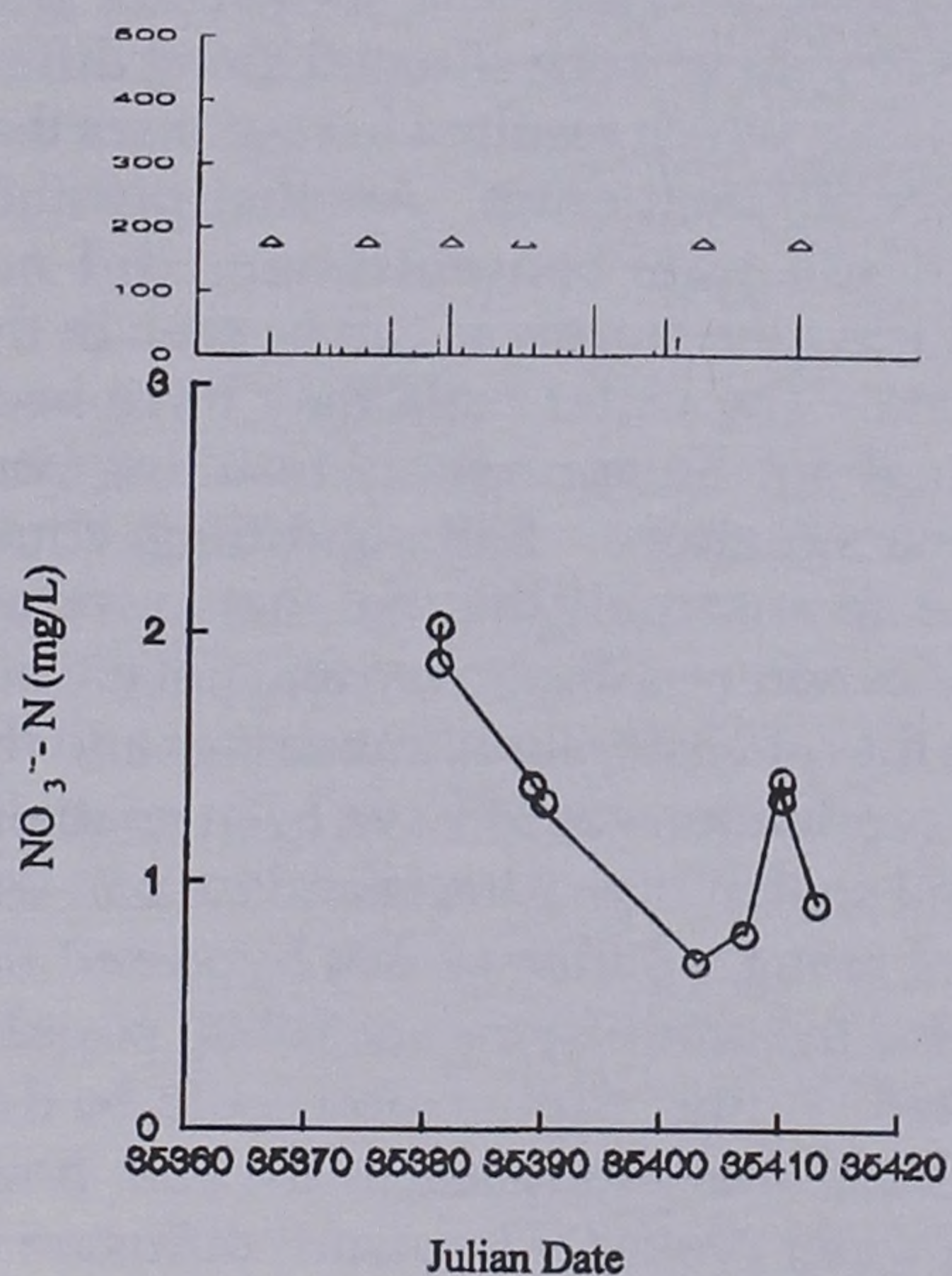
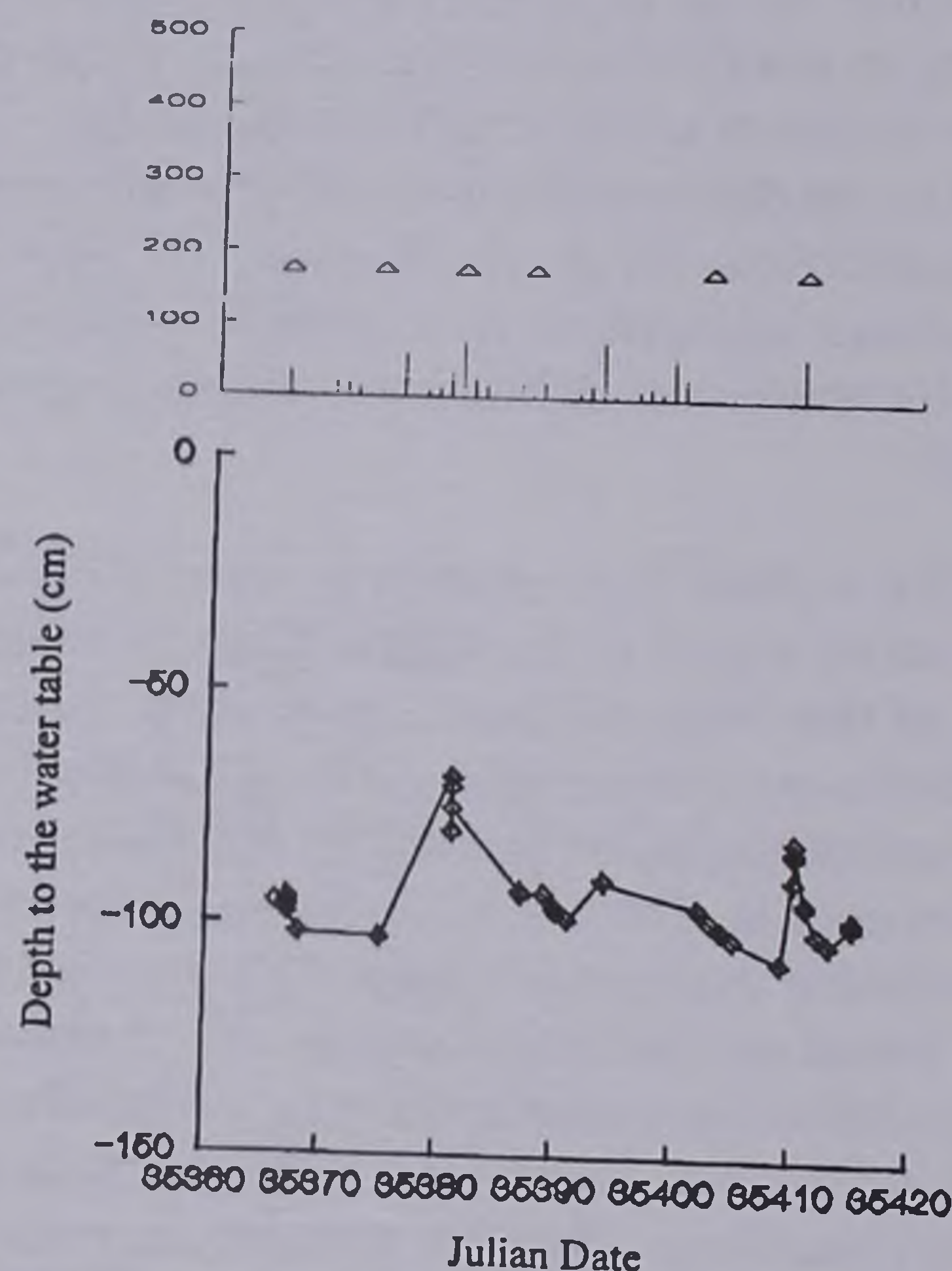


Figure 4. -Lower panel. Depth to the water table over the course of the storm study.



REGENERATION DYNAMICS OF MAHOGANY PLANTATIONS FOLLOWING DISTURBANCE IN A SUBTROPICAL WET FOREST, PUERTO RICO

Hsiang-hua Wang
Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

As part of a 1- year research fellowship at the International Institute of Tropical Forestry and the University of Puerto Rico, an investigation was undertaken to determine the regeneration dynamics of mahogany in mature plantations in the Luquillo Experimental Forest in Puerto Rico. Recent investigations of the ecology of mahogany (genus *Swietenia*) in natural forests in Belize (Lamb 1966), México (Snook 1996), Brazil (Verissimo 1995), and Bolivia, Gullison and others 1996) indicate that periodic catastrophic disturbances can promote mahogany regeneration. However, gaps caused by selection logging commercial mahogany have failed to encourage mahogany regeneration in several forests (Lamb 1966, Johnson and Chaffey 1973, Snook 1996), and the magnitude and frequency of disturbances needed to maintain mahogany in harvested areas are unknown. How to develop sustainable harvesting plans

is also unknown. Unfortunately, it is known that because the density of mature seed-bearing mahogany is usually low and that it can take over 100 years for a tree to reach commercial size, harvesting companies are not encouraged to operate in a sustainable manner.

The goal of this study is to determine the influences of disturbance on the regeneration of mahogany in mature mahogany plantations. The central hypothesis of this study is that the influence of disturbance on mahogany regeneration can be determined by investigating and monitoring population structure in similar plantations that have received different degrees of disturbance. In addition, the study will also evaluate the use of small plantations as regeneration sources that can be used to sustain mahogany yields and genetics.

Table 1. —Population structure of mahogany in three mahogany plantations in the Luquillo Experimental Forest. Values are mean \pm SE, n=3 sample transects.

Relative damage in 1989 hurricane	Light	Moderate	Heavy
	—El Verde—	—Sabana—	—Bisley—
Seedlings/ha (height < 50 cm)	168667 \pm 49166	4000 \pm 8718	1333 \pm 2039
Young juveniles /ha (height > 50 cm, d.b.h. < 2.5 cm)	1416.7 \pm 1204.5	183.3 \pm 275.4	0.0 \pm 0.0
Old juveniles/ha (2.5 cm \leq d.b.h. < 10 cm)	983.3 \pm 431.1	200.0 \pm 346.4	0.0 \pm 0.0
Small trees/ha (10 cm < d.b.h. < 20 cm)	83.3 \pm 104.1	100.0 \pm 173.2	0.0 \pm 0.0
Adult trees/ha (d.b.h. > 200 cm)	183.3 \pm 57.7	200.0 \pm 50.0	66.7 \pm 76.4

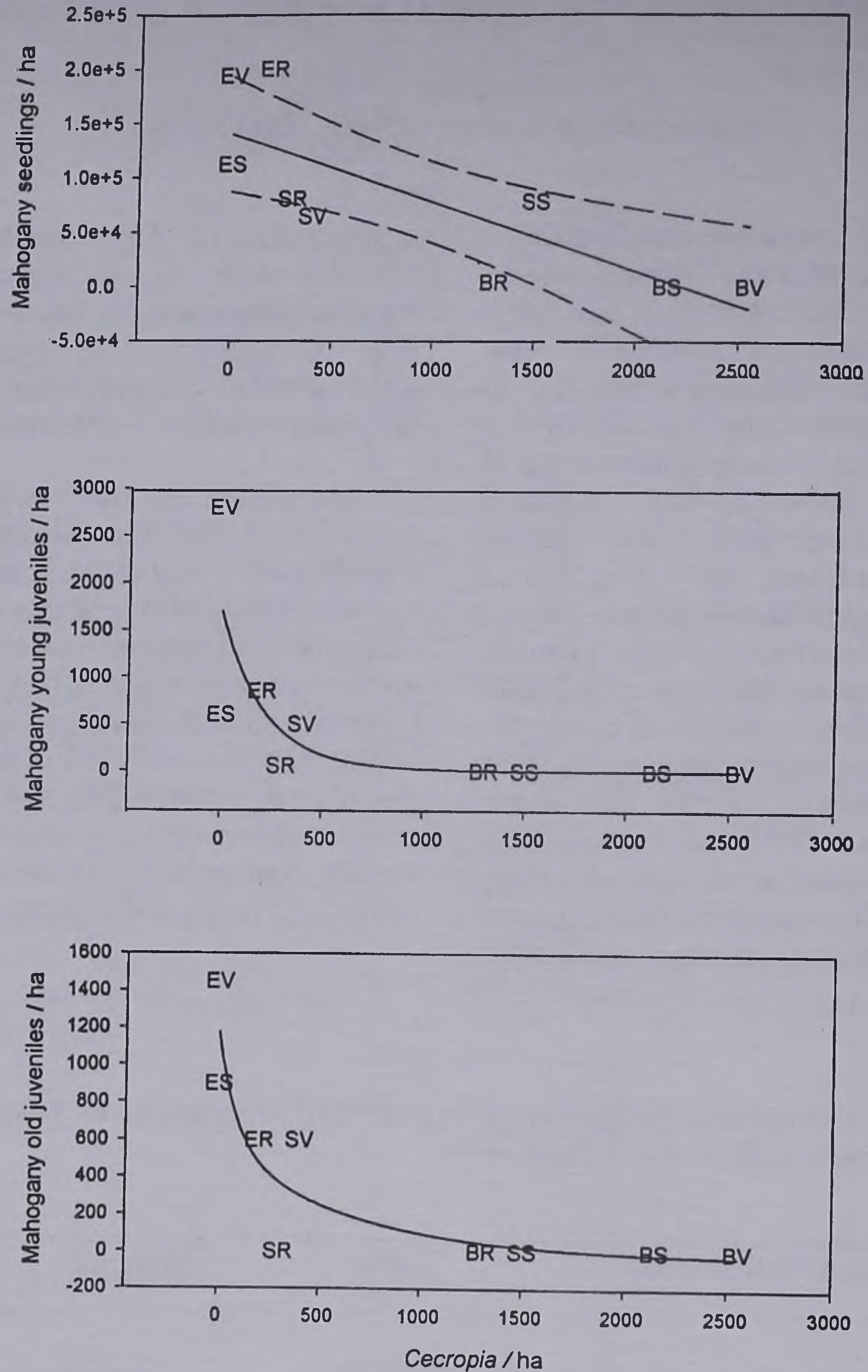


Figure 1. –Relationship between density of *Cecropia peltata* and density of mahogany seedlings and juveniles of nine sample transects in the Luquillo Experimental Forest. (a) y (density of mahogany seedlings) = $138026.79 - 66.70 x$ (density of *Cecropia*), $r^2 = 0.598$, $n=9$, dash line = 95 percent confidence interval; (b) y (density of mahogany young juveniles) = $1.627 + 892 e^{-0.00534 x} + 812 e^{-0.00397 x}$ (x = density of *Cecropia*), $r^2 = 0.600$, $n=9$; (c) y (density of mahogany old juveniles) = $-38.8 + 602 e^{-0.01122 x} + 613 e^{-0.00149 x}$ (x = density of *Cecropia*), $r^2 = 0.823$, $n=9$. EV= El Verde plantation, valley transect; ES= El Verde plantation, slope transect; ER= El Verde plantation, ridge transect; SV= Sabana plantation, valley transect; SS= Sabana plantation, slope transect; SR= Sabana plantation, ridge transect; BV= Bisley plantation, valley transect; BS= Bisley plantation, slope transect; BR= Bisley plantation, ridge transect.

This study is being conducted in three mahogany plantations in the Luquillo Experimental Forest of Puerto Rico. Each of these sites has similar rainfall, topography, and soil. However, 7 years ago they were disturbed by Hurricane Hugo in different intensities. In each plantation, three 50m x 4m transects were established. All trees and saplings ≥ 2.5 cm in d.b.h. and all mahogany seedlings ≥ 50 cm in height were tagged and identified by species following the nomenclature of Liogier and Martorell 1982. Monthly measurements of seedling dynamics, phenology, and seed rain are currently underway.

Preliminary analysis of the data indicates that: (1) mahogany regenerates well in plantations that were slightly damaged by the 1989 hurricane and poorly in areas that were heavily damaged (table 1); (2) the density of mahogany seedlings and juveniles in nine transects also has a negative correlation with density of *Cecropia peltata*, an early succession species (figure 1).

LITERATURE CITED

Johnson M.S.; Chaffey, D.F. 1973. An inventory of the Chiquibel Forest Reserve, Belize. Land Resources Study No. 14, Foreign and

Commonwealth Office, Overseas Development Administration, Land Resources Division, UK, 87 pp.

Lamb, F.B. 1966. Mahogany in Tropical America: It's ecology and management. Ann Arbor, University of Michigan Press, 220 pp.

Liogier, H.A.; Martorell, L.F. 1982. Flora of Puerto Rico and Adjacent islands: A systematic synopsis. Editorial de la Universidad de Puerto Rico. Río Piedras, 42 pp.

Snook, L.K. 1996. catastrophic disturbance, logging and the ecology of mahogany (*Swietenia macrophylla* King): grounds for listing a major tropical timber species in CITES. Botanical Journal of the Linnean Society, 122: 35-46.

Verissimo, A.; Barreto, P.; Tarifa, R.; Uhl, C. Extraction of a high-value natural resource from Amazonia: the case of mahogany. Forest Ecology and Management. 72: 39-60.

THE ECOLOGICAL STATUS OF DRY FOREST FRAGMENTS

Ian Ramjohn, Peter G. Murphy, and Thomas M. Burton
Michigan State University

and
Ariel E. Lugo
International Institute of Tropical Forestry

The global destruction or degradation of tropical rain forests is one of this century's most severe environmental problems. But, the ecological crises facing the seasonally dry forests of the tropics are equally, if not more, serious. Dry forests once occurred widely throughout regions that are now among the most heavily populated in the tropical world. Because they tend to be associated with soils and climate regimes that are favorable for cattle and agriculture, few dry forests survive in anything but small relict tracts.

In this study, we are investigating the flora and forest structure of approximately 40 forest fragments in the dry forest life zone of

southwestern Puerto Rico. The fragments range from small and isolated patches, less than 0.5 ha in area, to much larger tracts very close to, or almost continuous with, other forest areas. Other factors that vary among fragments are aspect, slope, soil, age, and disturbance history.

To date, well over 300 plant species have been collected from the fragments although not all have thus far been identified. Species-area curves for fragments tend to level off at a sample size of under 300 m² in many sites (e.g., figs. 1 and 2), but, in others, generally the more extensive fragments, larger samples are required for accurate assessment of floristic diversity (e.g., figs. 3 and 4). We are still in the

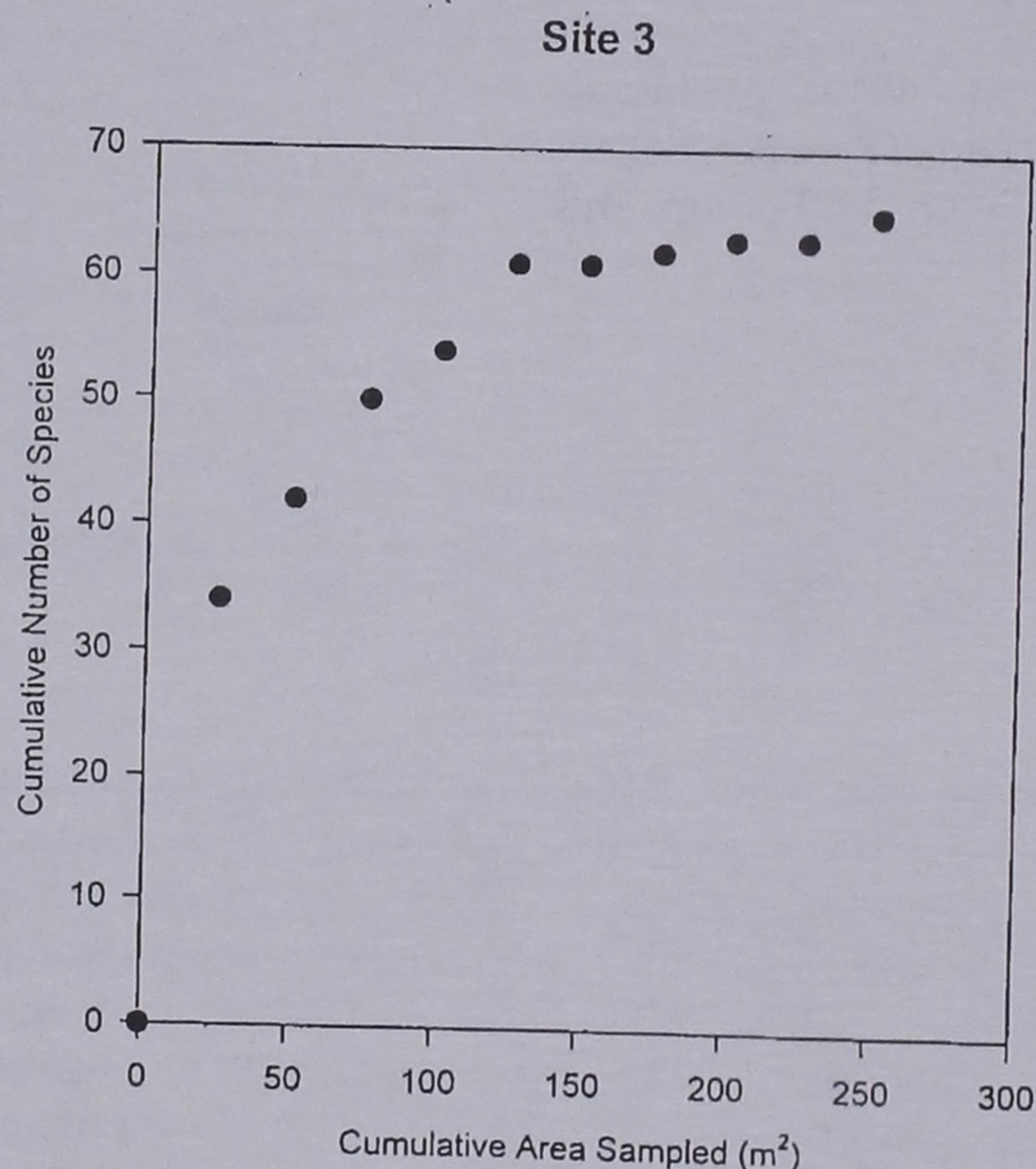


Figure 1. —Species-area curve for plants in Site 3. Fragment area: 0.8 ha.

Site 21

Figure 2. -Species-area curve for plants in Site 21. Fragment area: 2 ha.

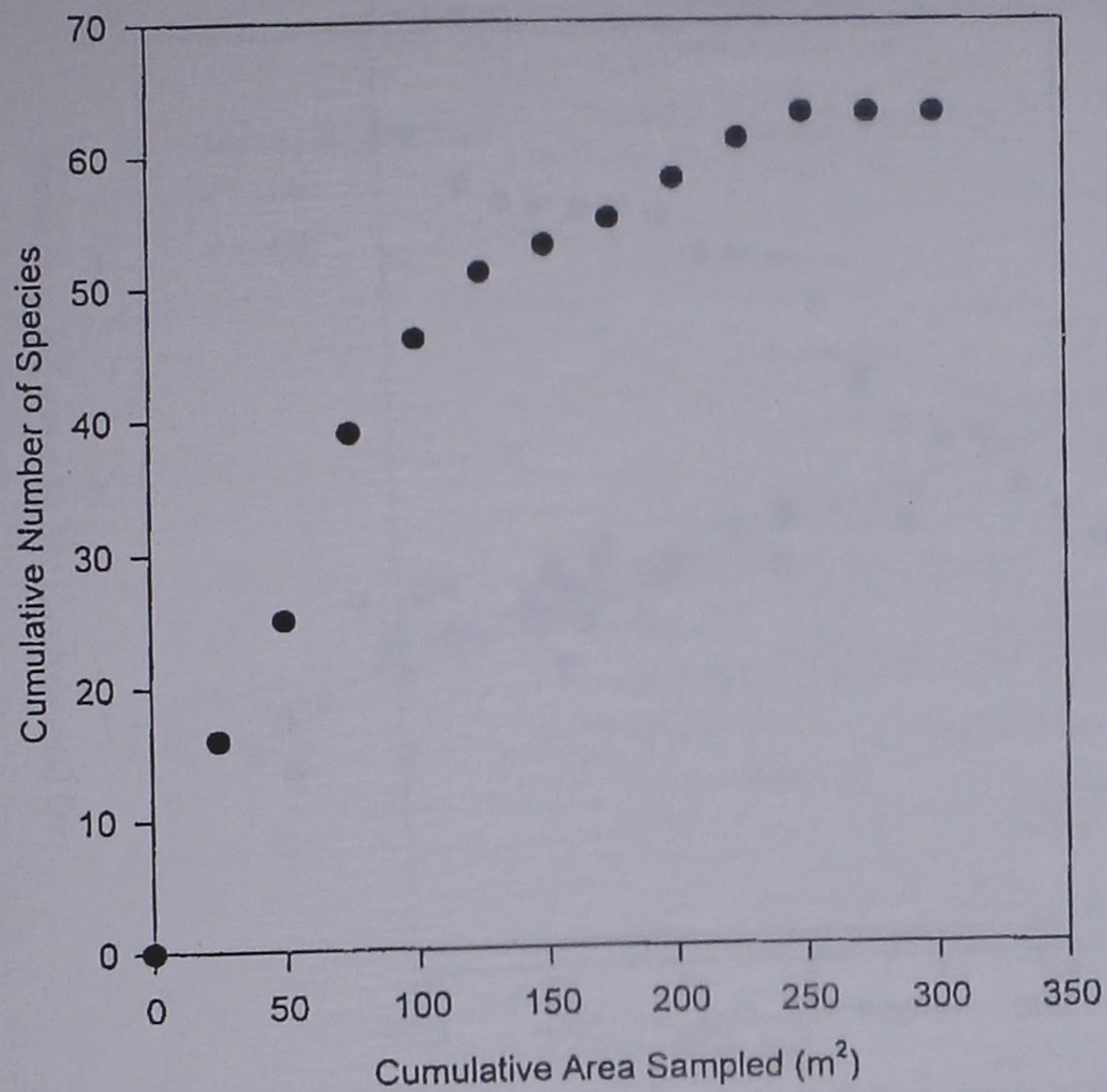
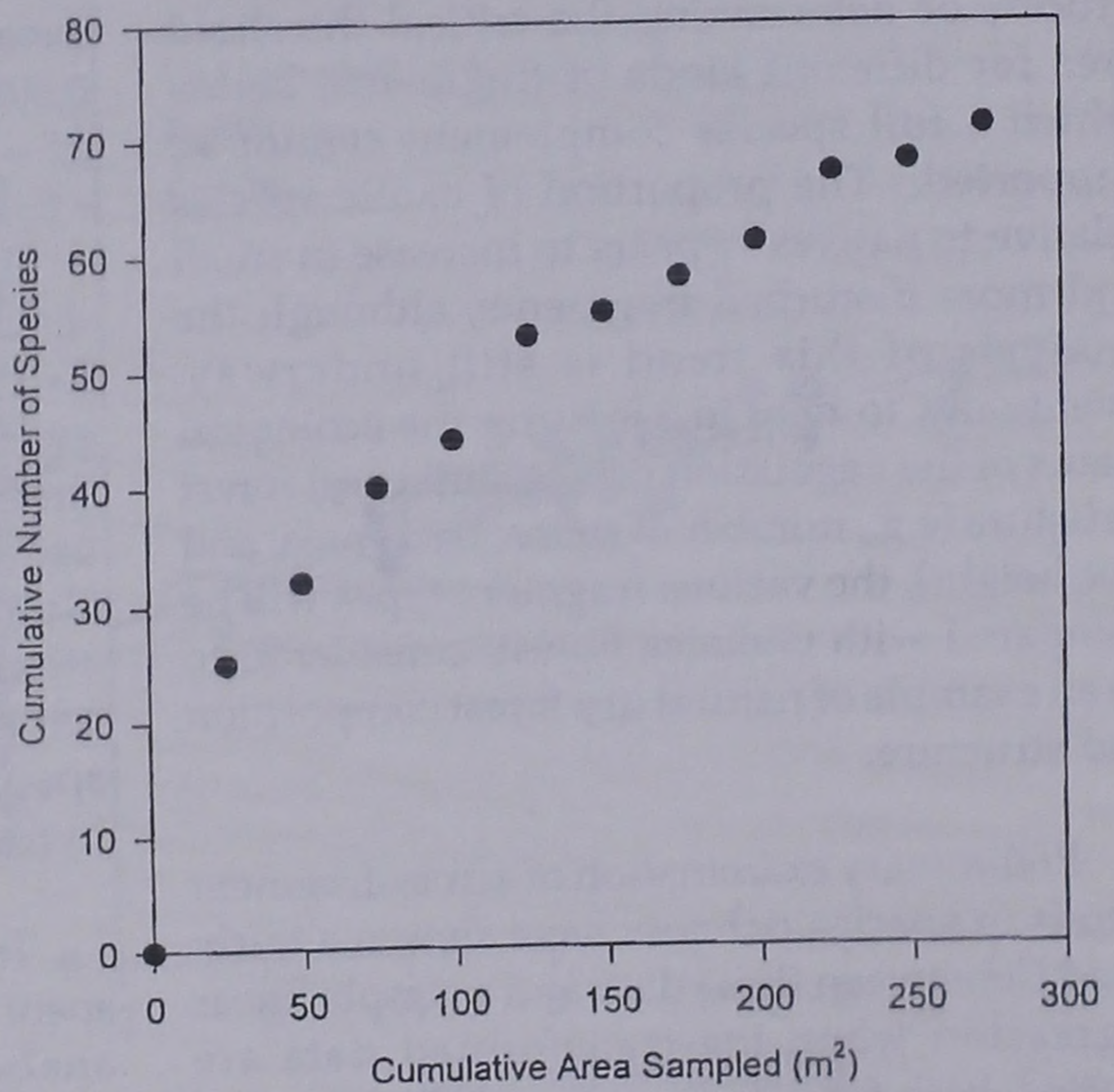


Figure 3. -Species-area curve for plants in Site 27. Fragment area: 11 ha.

Site 27



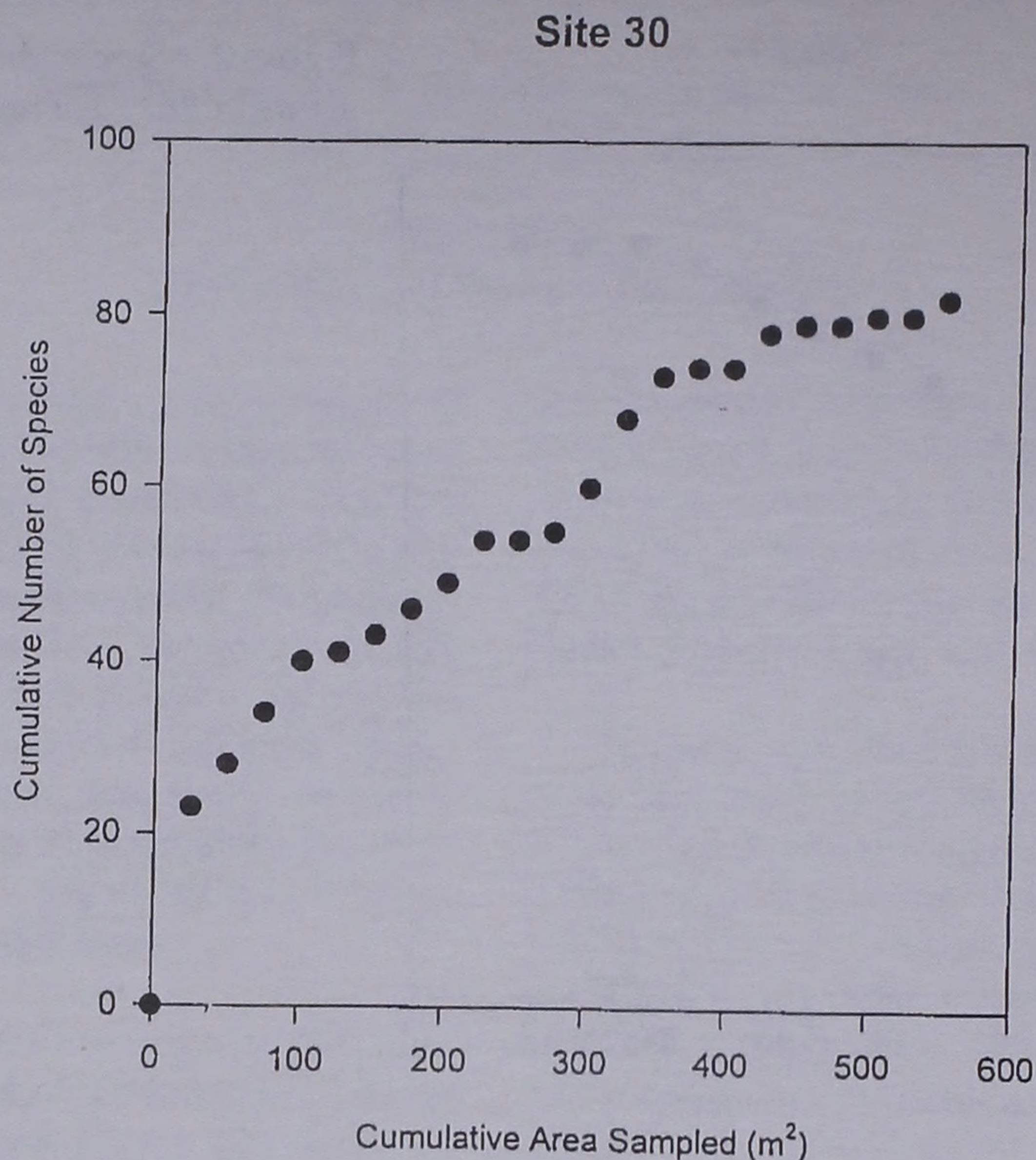


Figure 4. –Species area curve for plants in Site 30. Fragment area: 275 ha.

process of determining the critical threshold area for different kinds of fragments, below which a full species complement cannot be supported. The proportion of exotic species relative to natives appears to increase in small and more disturbed fragments, although the analysis of this trend is still underway. Eventually, to help in assessing the ecological status of the vegetation composition and forest structure (e.g., number of stems, basal area, and tree height), the various fragment types will be compared with Guánica Forest, considered to be an example of natural dry forest composition and structure.

Preliminary examination of across-fragment trends in species richness have shown a fairly good fit between these data and a simple linear regression when log-transformed data are plotted, both for woody species, which tend to

exceed 1 cm in diameter at breast height ($r^2 = 0.695$), and for total plant species composition ($r^2 = 0.728$) (figs. 5 and 6).

We expect that our analyses of plant diversity and forest structure patterns relative to fragment size and other variables will eventually provide a better understanding of the fine balance that exists between intense land use and dry forest survival. Comparisons with Guánica Forest will demonstrate the effectiveness with which dry forest fragments are able to serve as refugia for native plant species and the extent to which forest structure in fragments represents natural conditions.

To date, approximately 9 months have been spent on-site in southwestern Puerto Rico. Data analysis is in progress. Ramjohn made a presentation on initial findings at the 1997

Dry Forest Trees

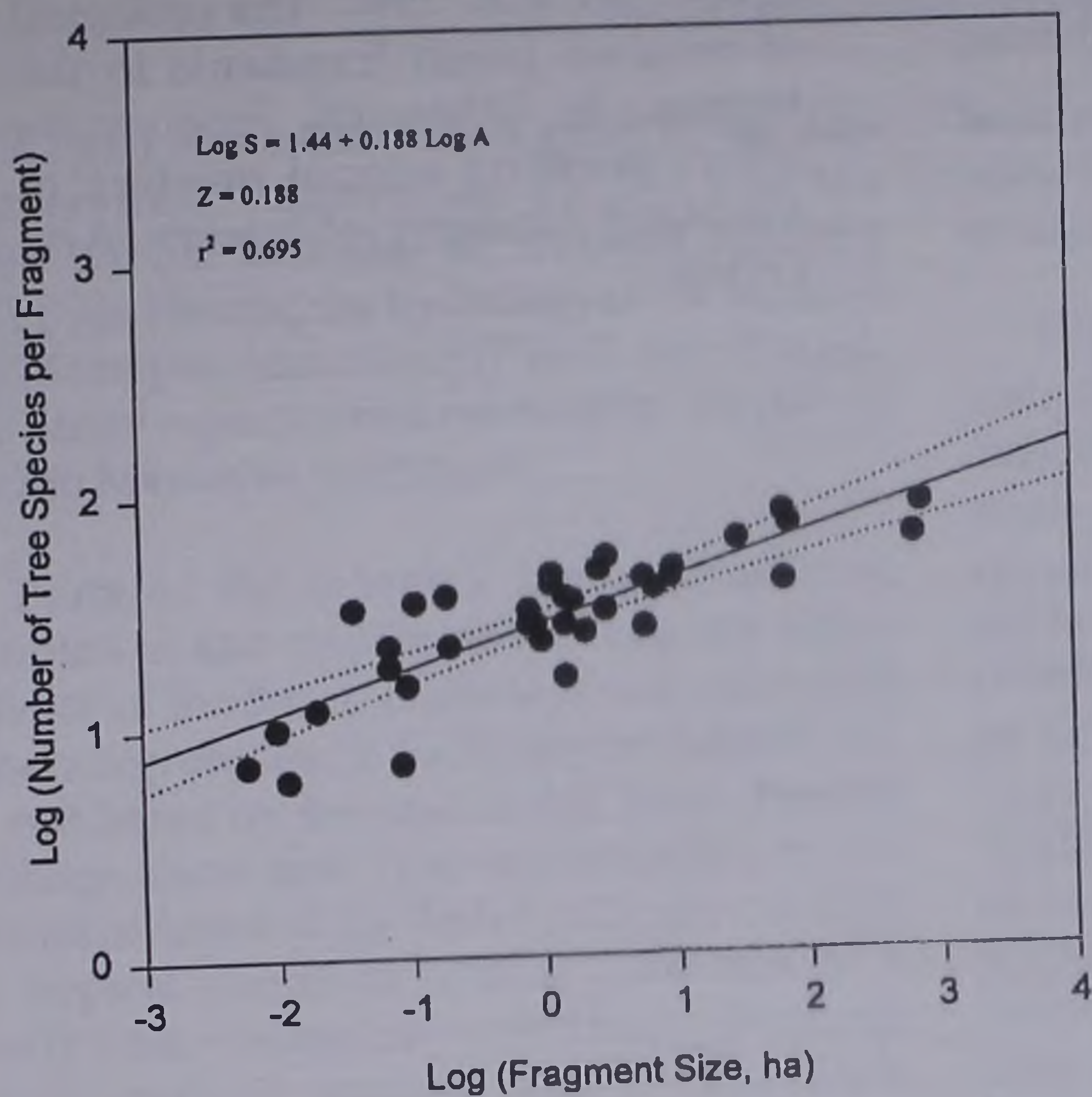
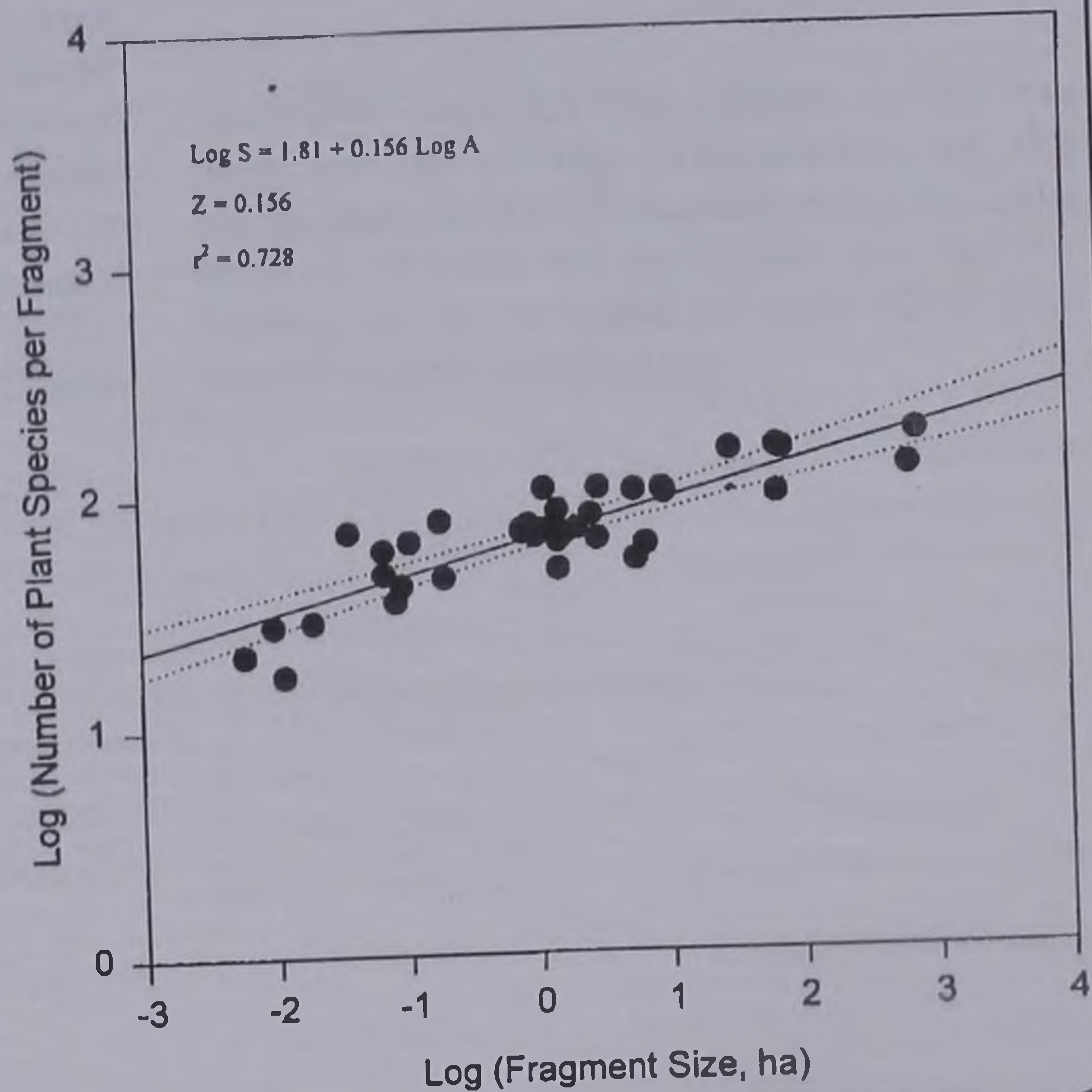


Figure 5. -The distribution of tree species richness across fragments. Least squares regression and 95 percent confidence interval are shown for data.

Total Plant Species Composition

Figure 6. -The distribution of plant species richness across fragments. Least squares regression and 95 percent confidence interval area shown for data.



annual meeting of the Michigan Academy of Science, Arts, and Letters (Ramjohn and others 1997) and gave a talk on the project at the International Institute of Tropical Forestry in July 1997. Additional presentations are planned for 1998 as data analysis proceeds.

LITERATURE CITED

Ramjohn, I.; Murphy, P.G.; Burton, T.M.; Stanley, K.E.; Lugo, A.E. 1997. The ecological role of residual forest fragments in the dry tropics. In: [Abstract]. Program for the which meeting annual meeting of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters.

HYDROLOGICAL PROCESSES AND MODELING IN A TROPICAL ISLAND SETTING

*J. Schellekens
Vrije Universiteit, Amsterdam*

As part of a collaborative effort of the Vrije Universiteit, Amsterdam (VUA) and the International Institute of Tropical Forestry (IITF), Río Piedras, the hydrology of the forested Río Mameyes catchment (17 km²) was studied. The Bisley experimental catchments are part of the Río Mameyes catchment.

Parts of the research are now nearing completion and papers concerning the water balance of the Bisley catchment and the runoff generation process in the Bisley catchment will be published by the end of this year. Present findings show that evapotranspiration in the tabonuco forest of the Bisley catchment is high by tropical standards (almost 3,000 mm on a yearly basis when extrapolated from a 3-month study period) mainly due to the high interception losses (43 percent of gross precipitation). Storm runoff in the Bisley catchment is generated in a variety of ways. Subsurface storm flow through pipes and macro pores accounts for most of the fast flow. Return flow and precipitation on saturated areas generates another, smaller, part. Evidence for Hortonian overland flow was not found. Other studies on flow paths in tropical forest catchments have revealed that the major source of quick runoff is near the surface flow paths. The Bisley catchments are somewhat different.

Soils are deeper, and fast, near-surface runoff occurs in the top 60 cm instead of the top 20 cm or so as is usually found.

Present process-based studies will be complemented in a later stage by a modeling exercise using the Vamps and the TOPOG model. Vamps is a one-dimensional model specially designed and developed for the application to tropical forest sites¹. TOPOG is a physically based distributed model developed by Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia. This model has been used successfully in a number of studies of forested catchments. The application of this model will be the first for such a steeply dissected catchment on a tropical island. Parts of this research will study the tradeoff between lumped and distributed modeling and the upscaling problems when applying the model to the entire Río Mameyes catchment.

¹A WWW page for the Vamps model has been set up giving information on the model, including a full manual. Also, the latest version should be available for downloading. It can be found at: <http://flow.geo.vu.nl/vamps/vamps.html>.

LOSSES OF NUTRIENTS VIA HYDROLOGIC FLOWPATHS ALONG A SOIL TEXTURAL GRADIENT IN THE TAPAJÓS NATIONAL FOREST, AMAZON BASIN, BRAZIL

*J.C. Neff and P.M. Vitousek
Stanford University
Stanford, California, CA 94305-5020*

The regulation of nutrient losses in intact tropical rain forests and, specifically, the mechanisms that result in the production, retention and loss of dissolved organic carbon, and phosphorus are the topics of this research project. We have established two sites in primary forest areas that will be used as baseline reference sites for the planned selective timber harvests at the Tapajós. The two primary forest sites are located on high sand and high clay contact soils that are representative of the textural variability of the Tapajós region.

On each forest site during April and September 1997, we installed a series of tension and zero-tension lysimeters at two depths in nine plots on each site. In four plots on each site we co-located vertical arrays of time domain reflectrometry (TDR) probes at four depths in each plot. In April and September 1997, we collected samples from the lysimeters and performed a series of chemical analyses of these samples at Stanford University. The results indicate that dissolved organic N leaching is a significant component of ecosystem N losses. Dissolved organic C concentrations are also elevated, and dissolved organic P concentrations are low. Given the low P concentrations at this site, it is likely to be an important loss vector. The textural differences between the two sites appear to lead to strong differences in dissolved organic concentrations of elements. Whereas throughfall dissolved organic matter (DOM) concentrations are similar on the two sites, DOM concentrations are reduced significantly as water moves through the soil in the clays and remains elevated at depth in the sands. This pattern may partially explain larger

standing pools of carbon in surface soils on the clays than on the sands. Interestingly, laboratory leaching experiments of Tapajós sand and clay soils show much lower rates of DOM production on the sands than on the clays, suggesting that throughfall or litter leachate DOM input rather than within soil DOM production is responsible for the elevated DOM concentrations in surface lysimeters in the sandy soil at the Tapajós.

We obtained additional funding for this research from the National Science Foundation, which will be used to extend these measurements through 1998. In 1998, we will carry out routine measurements of leachate chemistry and soil water characteristics at the Tapajós. During that time, lysimeters will be sampled twice weekly and hourly TDR measurements of soil moisture will be maintained. From June through December 1997, we will sample lysimeters monthly and TDR periodically in order to estimate yearly budgets for the leaching of elements from these two forest types. We anticipate publishing this data in early 1999.

The research funded by this grant has also contributed to the completion of a paper by Silver, Neff, Veldkamp, McGrody, and Keller describing the trends in soil organic matter (SOM) elements, $d^{15}N$, root biomass, and other factors in the Tapajós forest. In 1998, we will complete our proposed objective of obtaining yearly budgets of hydrologic element loss from the two sites at the Tapajós forest, and we will begin instrumentation of areas designated for selective harvests.

EFFECTS OF ROAD CONSTRUCTION ON THE COMPOSITION AND SUCCESSION OF A SUBTROPICAL CLOUD FOREST IN THE LUQUILLO EXPERIMENTAL FOREST, PUERTO RICO

Lydia P. Olander
Department of Biological Sciences
Stanford University, Stanford, CA 94305-5020

The vegetation, soil, and microclimate of 6-month-old roadfills, 35-year-old roadfills, and mature forest with and without monocot understories were compared in the subtropical cloud forests (TMCF) of the Luquillo Experimental Forest (LEF) in Puerto Rico (Olander and others 1997). Recent roadfills had higher light levels, soil temperatures, bulk densities, larger pools of exchangeable soil nutrients, higher soil oxygen concentrations, but lower soil moisture, lower soil organic matter, and lower total soil N than the mature forest. On the 35-year-old roadfills, bulk density, soil, pH, and the concentration of several nutrients were statistically similar to the mature forest, whereas soil moisture, exchangeable pools size, and N mineralization rates were different. The total biomass of 6-month-old roadfills was about 2 mg/ha and dominated by a variety of monocot and herbaceous species. The 35-year-old roadfill areas had 10.5 mg/ha of aboveground biomass, 77 percent of which was non-woody. Seedling density, tree density, and total tree biomass were 12 percent and

2 percent of mature forest sites, respectively, and these areas had the lowest rates of biomass accumulation known for the LEF. In areas that were not directly disturbed during construction, the road has had little effect on the vegetative composition beyond a 5-to-10 m zone immediately adjacent to the pavement. In areas where the substrate was disturbed during construction, it may take 200 to 300 years for biomass to attain mature forest levels. Although non-native monocots, one of which had been planted along the roadway 35 years earlier, were copious along the disturbed roadside, they were generally absent from the mature forest and only abundant in habitats of anthropogenic origin.

LITERATURE CITED

- Olander, L.P.; Scatena, F.N.; Silver, W.L. Effects of road construction on the composition and succession of a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. Manuscripts in progress.

HYDROMETEOROLOGICAL IMPACT OF MESO-SCALE LAND COVER TRANSFORMATION UNDER TROPICAL MARITIME CONDITIONS

*Michiel K. Van der Molen and Hans F. Vugts
Department of Meteorology, Faculty of Earth Sciences,
Vrije Universiteit, Amsterdam*

To study the hydrometeorological impact of the conversion of original lowland forest in agricultural land and urban areas meteorological equipment was setup at different sites in April and May 1997. Two sites are located in Sabana Seca and another two in the El Yunque forest. A short description of the measurement sites will be given first.

Sabana Seca sites

A 26-meter high tower has been erected in a strip of virgin *Pterocarpus* forest with a canopy height of approximately 13 meters. The radiation energy balance and its components are measured above the canopy. At seven levels (of which two are within the canopy), wind speed, temperature, and relative humidity are measured. Mean gradients of these quantities are needed for the computation of turbulence fluxes of heat and moisture using the so-called "profile method". Other than this, measurements of horizontal and vertical wind speed, temperature, humidity, and carbon dioxide concentration are made at a rate of 1.6 Hz, which allows for the direct measurement of turbulence fluxes. This is called the "eddy correlation method". Also, wind direction, air pressure, precipitation, soil (water) temperature, tree-stem temperatures, and sapflow rate are measured.

The second site is located in a nearby pasture, equipped with mostly identical instruments. The profiles of wind speed, temperature, and humidity are measured in a 9-meter mast. Additional measurements are made of soil temperatures at several levels, soil heat flux, and ground water level.

In this study, the *Pterocarpus* forest will stand model for the 'old' situation, where Puerto Rican coastal areas were covered by lowland

forests. The pasture then represents the current situation of forests being replaced by agricultural land.

El Yunque sites

A 15-meter mast has been installed in the palm forest at an altitude of 915 meters, where wind speed, temperature, and humidity are measured at 5 levels. Also the radiation energy balance, wind direction, precipitation, air pressure, tree-stem temperatures, soil temperatures, and soil-heat fluxes are measured. The eddy correlation method is not used here, nor is the carbon dioxide concentration measured.

Last, a smaller station, which is more or less portable, is being used to measure elevational gradients of temperature, wind speed and direction, humidity, radiation, and precipitation. It has been set up at the short cloud forest (SCF) at Pico del Este (1025 m) first. It has been moved successively to the tall cloud forest (TCF) at 995 meters and the Colorado forest at 815 meters. (Figures 1-5).

Project background

Land conversion can directly influence the climate in the area due to changes including the amount of reflected solar radiation, the soil temperature, and the evaporation rate. Recent model simulations have predicted significant reductions in evaporation and rainfall after converting lowland forest in pasture under continental humid tropical conditions (Henderson-Sellers 1987, Lean and Warrilow 1989, Shukla and others 1989, Lean and Rowntree 1993). Similar studies for maritime tropical conditions are lacking. However, there is evidence that, possibly as a result of the changes in land cover: (1) the duration of drought periods in the lowlands becomes more

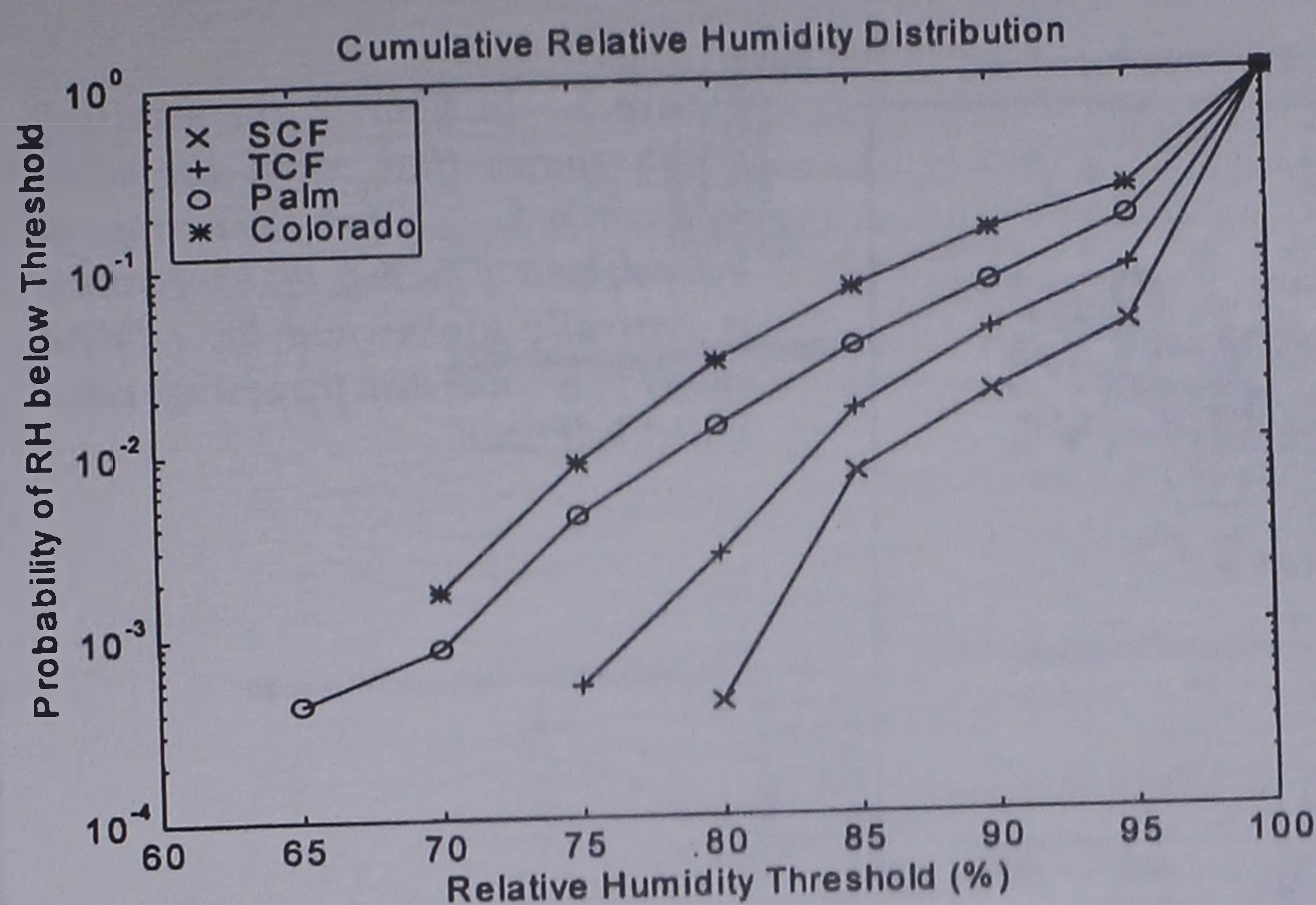


Figure 1. —Shows the cumulative distribution of relative humidity for the four sites in the forest. The measuring height is 12 meters for the palm forest and 2 meters for the other stations. The steepness of the 4 lines between 95 and 100 percent relative humidity indicates that the probability of occurrence decreases rapidly with decreasing relative humidity for all stations. However, a distinct difference is found correlating well with the station's altitude.

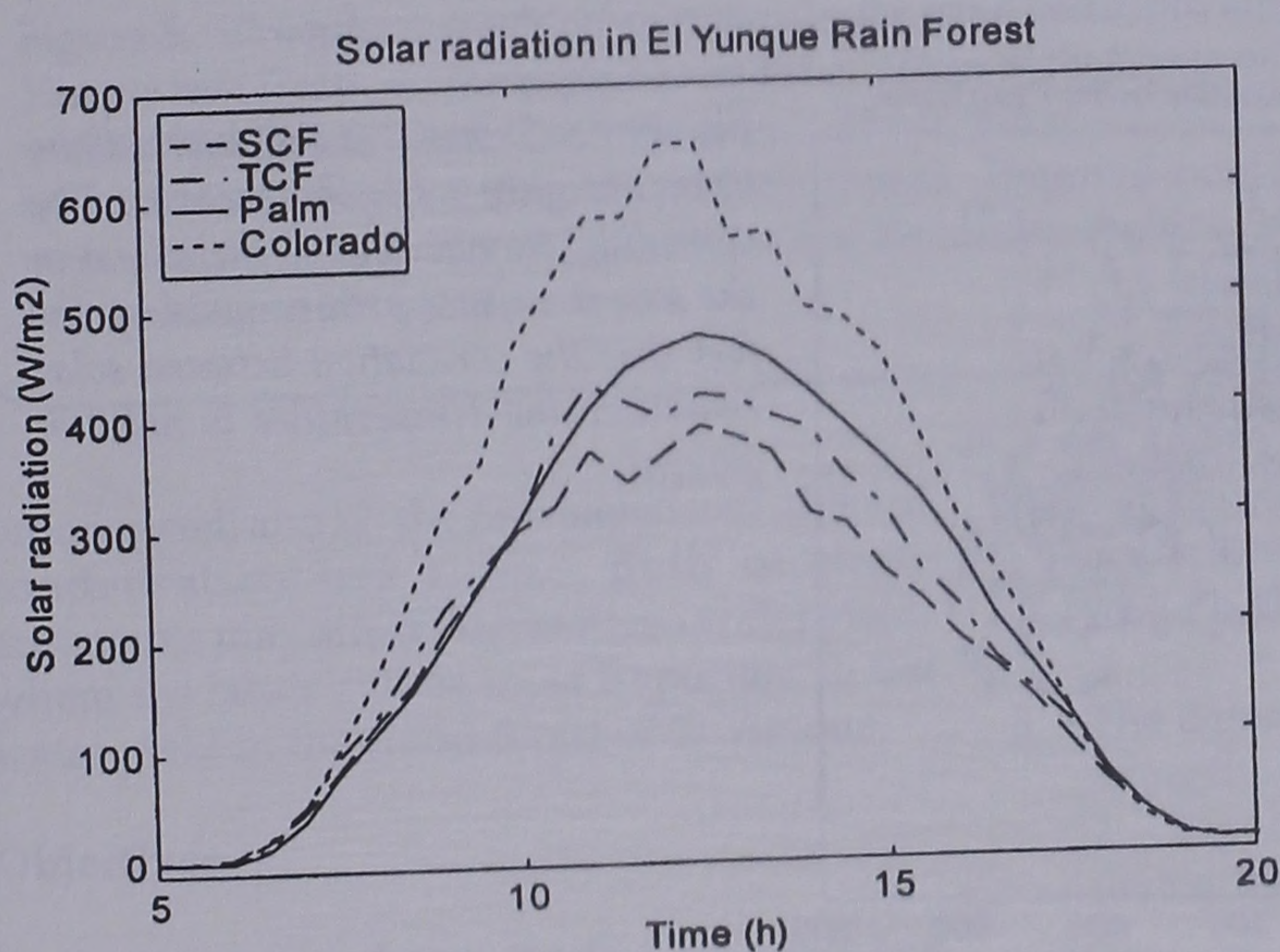


Figure 2. —Shows the average incoming solar radiation as a function of time for the 4 measuring sites. Again, there is a distinct difference dependent on elevation. The Colorado forest receives the most shortwave radiation of the four stations, which indicates that clear skies occur more above the Colorado forest than above the other stations. The differences between SCF, TCF and the palm forest are small compared to their common difference with the Colorado forest.

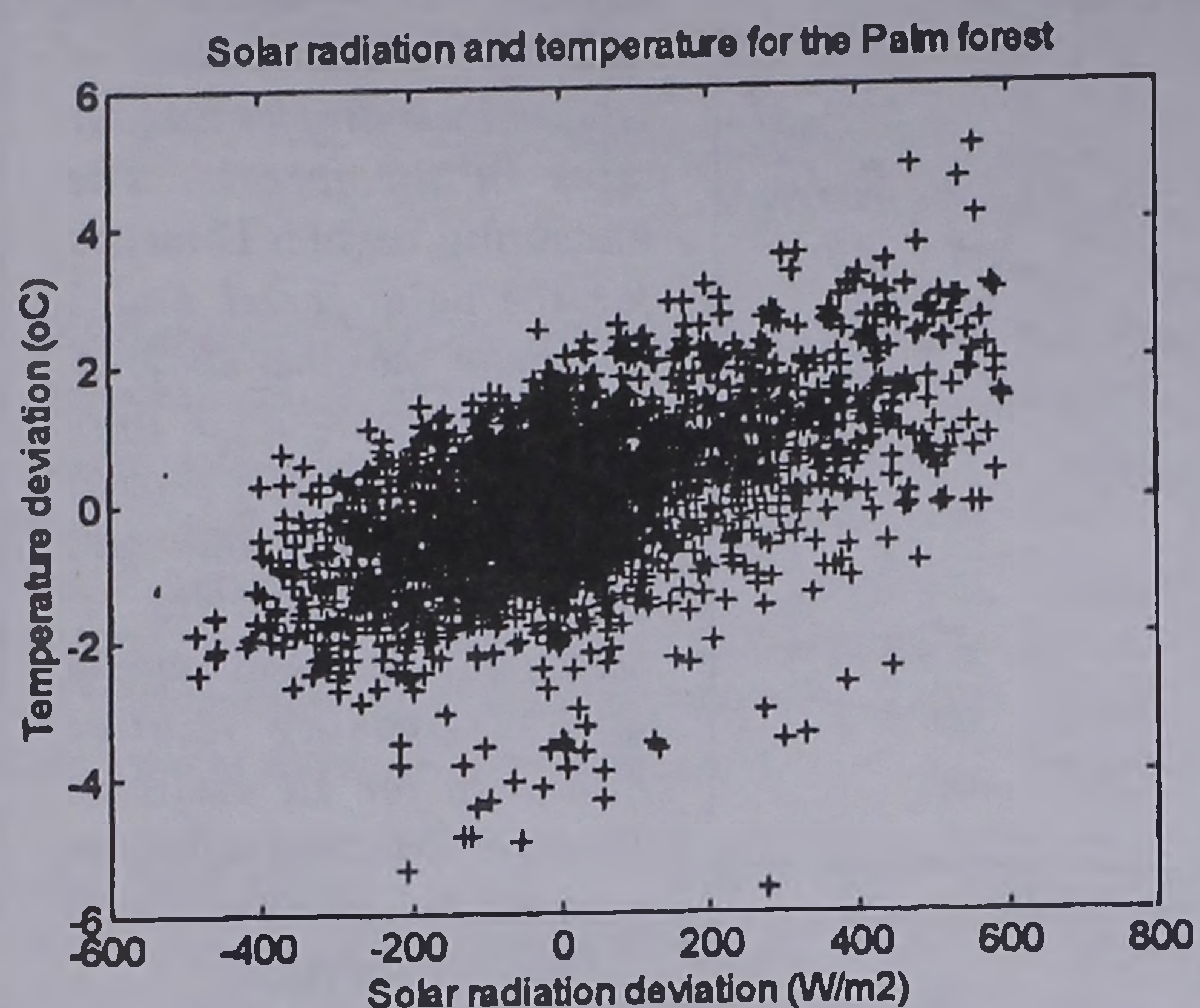


Figure 3. –In figure 3 the resulting graph shows that when the solar radiation is higher than the average at that half hour of the day, the temperature is generally higher and the relative humidity is lower than the average value of that half hour.

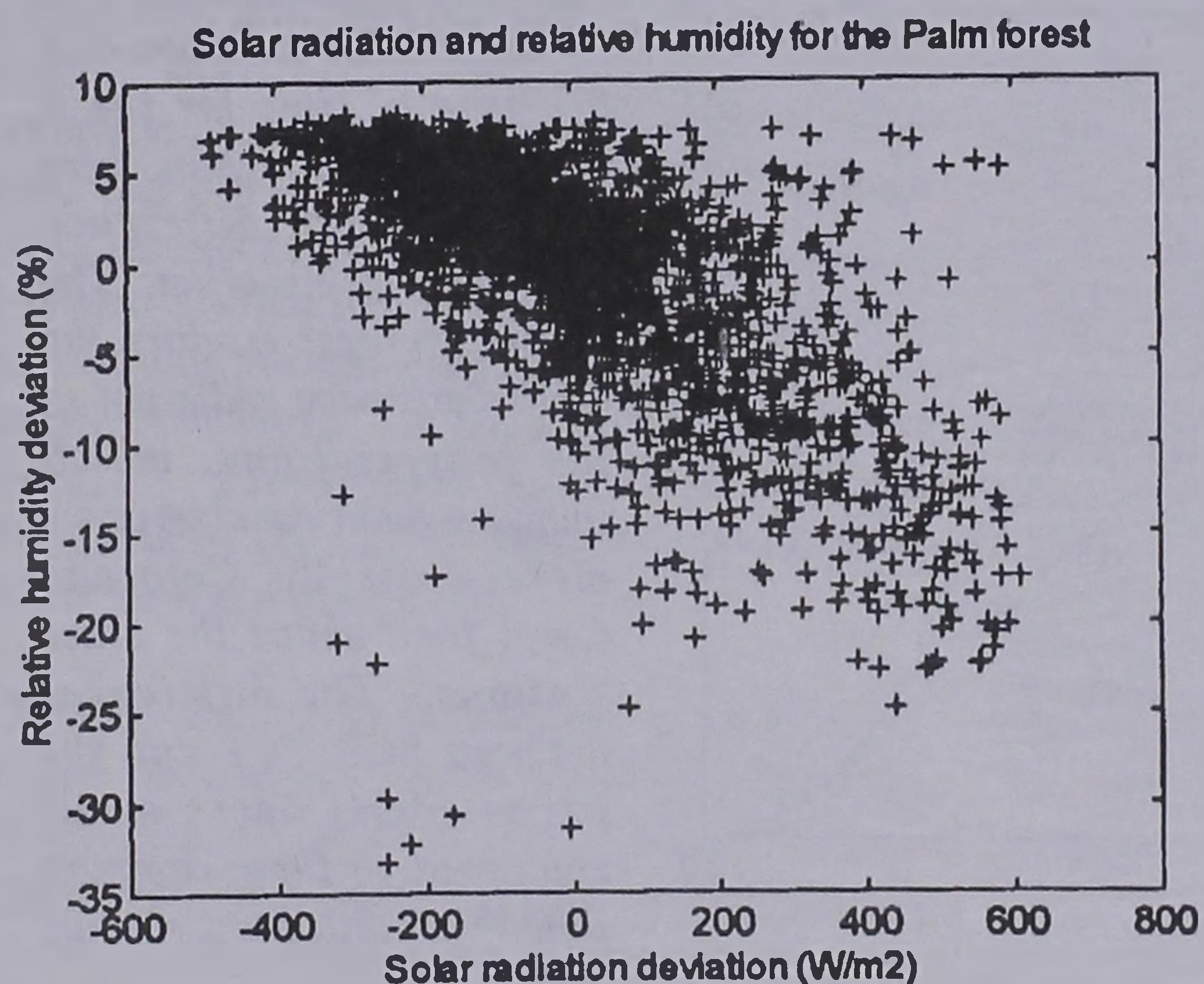


Figure 4. –Shows that the observations agree roughly with the theory. The spreading may be caused variations in the actual vapour pressure and by the fact that the correlation between solar radiation and temperature is not 100 percent.

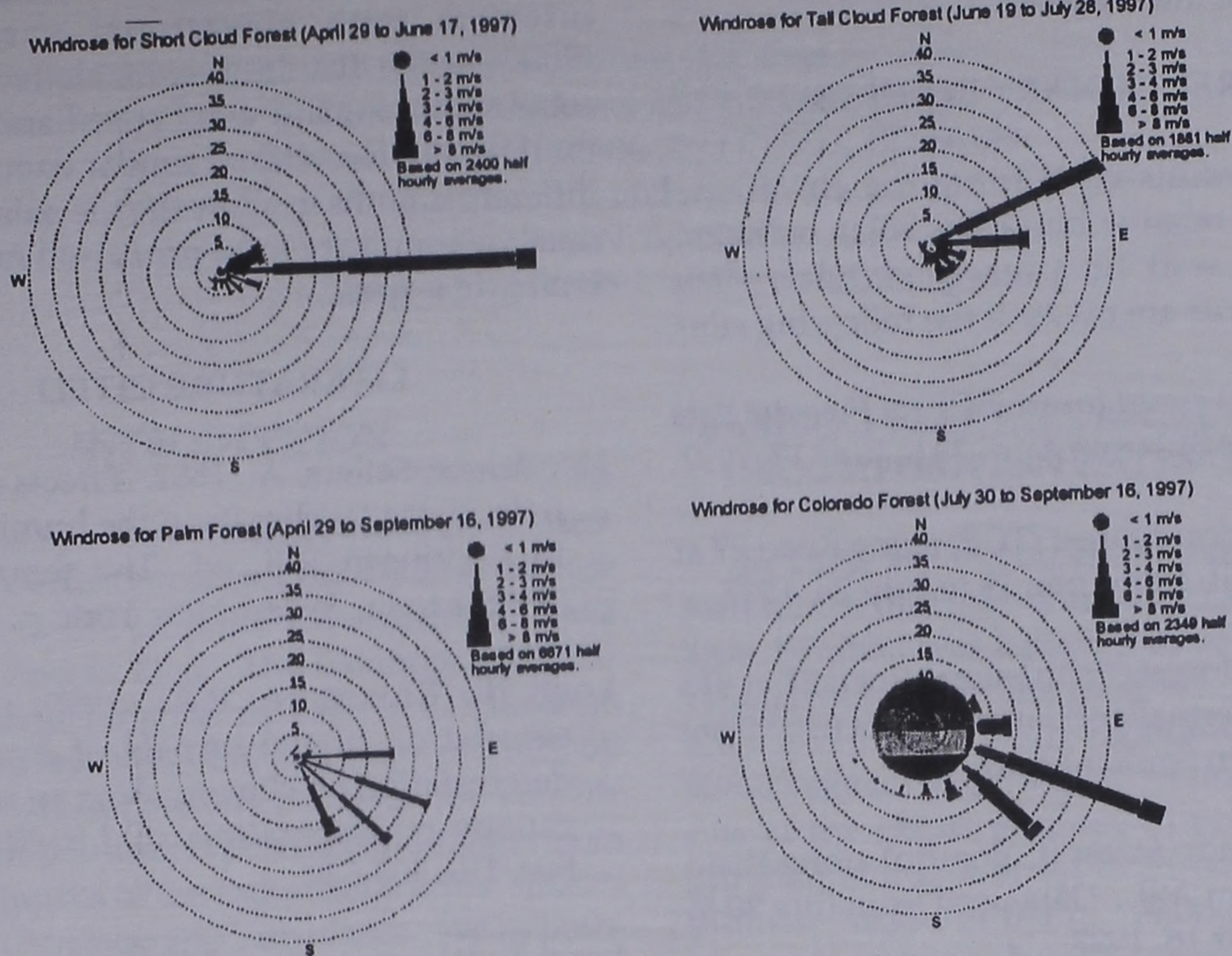


Figure 5. —Provides a graphical summary of the wind speed and direction data for the four sites in El Yunque rain forest. In these wind roses the direction of the beams indicates the wind direction and the width of the bars indicates the wind speed. The length of the beams represents the percentage of time with wind speeds of that direction and wind speed. The wind speed data used here are measured at 12 meters in the palm forest, which is well above the canopy, and at 3.5 meters for the other stations. The wind vane is at the top of the masts.

pronounced, and (2) the prevalent level of cloud condensation has risen. Both of these arguments may affect Puerto Rican water yield, where the latter will be most important to the water yield in the cloud forest of El Yunque.

Objectives

The project has been started to meet the following objectives:

1. The determination and modeling of the energy, water, and carbon dioxide balances of the lowland forest and pasture under tropical maritime conditions.
2. The measuring and modeling of the most important components of the energy and water balance of the palm forest.
3. The determination of the climate gradient, using the data, which is available from 1 and 2, together with data from other meteorological stations along the gradient.
4. The development of a new meso-scale circulation model, which is to be used to simulate the impact of (1) meso scale transformations of lowland forests in agricultural land and vice versa, and (2) the lifting of the cloud base due to warming of

the atmosphere caused by land-use change on both the regional water balance and land-sea interactions.

PRELIMINARY RESULTS

Some results concerning the elevational gradient of relative humidity, solar radiation, and wind will be presented now. The measurements are made at the following sites:

1. The short cloud forest (SCF) at Pico del Este (1025 m ASL) from April 29 to June 17, 1997.
2. The tall cloud forest (TCF) along Road 27 at 995 m ASL from June 19 to July 28, 1997.
3. The palm forest (Palm) along Road 27 at 915 m ASL (Permanent station). Data used from April 29 to September 16, 1997.
4. The Colorado forest (Colorado) along Road 27 at 815 m ASL. Data used from July 30 to September 16, 1997.

The quantities discussed here are measured every 30 seconds and processed to half-hour averages, which are stored on disk. It must be noted that data from 1, 2, and 4 do not cover more than about 50 days, whereas the data from

the palm forest site covers more than 4 months. For that reason, seasonal variabilities may interfere with elevational variabilities. However, the distributions of relative humidity, solar radiation, and wind speed and direction for the palm forest were similar enough for the different months to allow the the palm station's data for simplicity to be processed for over the entire time span.

LITERATURE CITED

- Henderson-Sellers, A. 1987. Effects of change in land use on climate in the humid tropics. In: Dickinson, R.E., ed. *The geophisiology of Amazona*. Wiley, New York; p. 463-493.
- Lean, J.; Rowntree, P.R. 1993. A GCM simulation of the impact of Amazonian deforestation on climate using an improved canopy representation. *Q.J.R. Meteology Soc.* 119: 509-530.
- Lean, J.; Warrilow, D.A. 1989. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature*. 342: 411-413.
- Shukla, J.; Nobre, C.; Sellers, P.J. 1989. Amazon deforestation and climatic change. *Science*. 247: 1322-1352.

BENTHIC COMMUNITY RESPONSE TO INTRODUCED BAMBOOS IN THE LUQUILLO EXPERIMENTAL FOREST

Paul J. O'Connor, A.P. Covich
Department Fisheries and Wildlife Biology
Colorado State University, Fort Collins, CO 80523
and
Fred N. Scatena
International Institute of Tropical Forestry

INTRODUCTION

Several species of bamboo have been introduced for erosion control on roads at stream crossings in the Luquillo Experimental Forest (LEF) of Puerto Rico. The bamboos have expanded their range in riparian zones through vegetative reproduction, and, most recently, by seed. A primary energy source for benthic fauna, bamboo litter is potentially different from riparian inputs of the indigenous forest species bamboo (*Bambusa* spp.) displaces. We hypothesized bamboo leaves to be poor substrata for microbial growth and subsequent use by benthic consumers. Our results highlight quite different effects. Decay rates attributable to microbial and chemical conditioning were measured in three second-order LEF streams using leaves from bamboo and another riparian invader, java plum (*Syzygium jambos*). The leaves decomposed at similarly fast rates (*Bambusa* spp. $k=0.018 \text{ day}^{-1}$; *S. jambos* $k=0.019 \text{ day}^{-1}$). Our shrimp-trapping studies in several watersheds using stream pools with and without riparian bamboo revealed significant increases of filter-feeders (*Atya* spp.), and predators (*Macrobrachium* spp.), in bamboo pools. Leaf preference experiments in wading pools using both fresh-picked and microbially conditioned leaves corroborate field results but suggest structure, in addition to food quality, is important in shrimp preference for bamboo substrata. In many tropical insular streams, decapod crustacea are the dominant energy processors. If introduced bamboos continue to multiply in riparian areas, food-web interactions between functional groups of shrimp will rapidly change with implications for overall stream function.

BAMBOO LEAF-FALL AND IN-STREAM DECOMPOSITION RATES (1996-1997)

In 1996, we documented bamboo setting seed for the first time within the LEF. Until that time, bamboo was believed to be reproducing vegetatively only. The progress of these seedlings is currently being monitored. We measured vegetative growth and found certain species of the genus *Bambusa* to produce shoots growing at a rate of up to 35 cm a day, to an ultimate height of 6-8 m. Along Bisley 3, we mapped bamboo as having spread 700 m downstream since its introduction in the 1950's.

Employing litter baskets, we found that bamboo leaves fall at slightly greater mass and a more constant rate ($1.96 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \text{ day}^{-1}$) (O'Connor in prep.) than leaves from an indigenous mixed forest canopy ($1.54 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \text{ day}^{-1}$) (Scatena and others 1996). Bamboo leaves were observed to accumulate in stream pools, and, thus, their decay rates were expected to be relatively slow. Using fine mesh material for leaf bags and an exponential decay model for analyses (Petersen and Cummins 1974), we established chemically and microbially induced decay constants (k) for bamboo leaves ($=0.018 \text{ day}^{-1}$) and leaves of another riparian exotic, *S. jambos*, or java plum ($k=0.019 \text{ day}^{-1}$). Differences in leaf breakdown rates between bamboo ($0.052 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$) and *Zyzygium* ($0.050 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$) were not significant (paired t -value=0.3, $p=0.7660$), which was surprising because leaves of the two families differ markedly in their structural integrity. Decomposition rates were "fast" according to the leaf-decay groupings of Petersen and Cummins (1974), who suggest $k>0.010 \text{ day}^{-1}$ for "fast",

$k=0.005-0.010 \text{ day}^{-1}$ for "medium", and $k<0.005 \text{ day}^{-1}$ for "slow" decomposers.

Additional decay studies were conducted in January 1997 to check if methods influenced leaf breakdown rates. Over a similar 6-week period, this time without mesh bags to exclude invertebrates and flow effects, 4-gram leaf packs of *S. jambos* had a much faster k of 0.036 day^{-1} , whereas similar packs of bamboo had only a slightly faster k of 0.020 day^{-1} . Percent lost per day was also greater without mesh bags for *Zyzigium* ($0.075 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$), but not so for bamboo ($0.054 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$). Letter results are from Quebrada Olga only, whereas 1996 results are averages from Quebrada Olga and 2 additional Bisley streams.

TRAPPING DATA FROM SITES THROUGHOUT THE LEF (1996)

Conversion of a naturally diverse riparian community into a monospecific stand of bamboo may inhibit development of a "normal" invertebrate detritivore fauna. Since bamboo is a grass, bamboo leaves were expected to be a less optimal energy source than leaves from indigenous dicotyledonous species.* A diversity of food and habitat patches are more commonly associated with a mixed-laxa litter fall because leaves in various stages of breakdown are simultaneously available to benthic organisms (John Lawton, pers. comm.). We hypothesized diminished numbers of shrimp in stream pools dominated by bamboo monoculture leaf inputs.

Results were opposite to our hypothesis. From June to August 1996 we surveyed 24 stream pools (12 test pools with riparian bamboo, 12 control pools without) at varying elevations and drainages within the LEF. In comparison to control pools within the same stream of similar size, flow, species assemblage and volume, pools dominated by riparian bamboo contained greater numbers of all three decapod functional groups known from LEF streams, with mean increases in bamboo test pools significant for filter-feeding *Atya* spp. ($\alpha=.10$, F-value 3.71, $p=0.0862$) and for predatory

Macrobrachium spp. ($\alpha=.10$, F-value 8.31, $p=0.0280$).

IN-SITU STREAM POOL MANIPULATIONS, QUEBRADA OLGA (1997)

In June and July 1997, we experimentally tested a pattern of increased shrimp numbers in pools with bamboo litter by conducting a series of stream-pool habitat manipulations. Densities increased for both functional groups of shrimp we sampled, though effects were apparently more dramatic for filter-feeding *Atya* rather than the predatory *Macrobrachium*. Covich and Crowl (1994) established presence of chemical and tactile cues for avoidance of *Macrobrachium* by *Atya*. *Macrobrachium* is thus considered predatory, although many we captured were small and presumably obtained food by scraping surfaces rather than from predation on *Atya*. These analyses are yet to be worked out. There were differences in shrimp density by leaf type (no. per m^2 of pool surface area), although both leaf types affected a decrease, and the difference may not be significant. However for *Macrobrachium* spp., density increases were significantly higher in bamboo pools compared to pools receiving the indigenous mix.

LEAF PREFERENCE OF ATYIIDAE, PALEOMONIDAE IN WADING POOLS 1997

In combination, the 1996 trapping results and the patterns of litter input and instream decomposition rates suggest the benthic community may respond more, at least initially, to the structural effect of bamboo leaves rather than to an inherent food quality of the leaves. This was not surprising given the disturbed nature (frequent spates, varying connectedness of pools, dynamic substrata) of stream pool environments headwater streams of Puerto Rico. In repeated trials, bamboo leaf packs were selected by shrimp given a choice between bamboo and other leaf species substrata. Although we were aware of *Atya* spp. for structure from field and aquarium observations, we

established *Atya* spp. preference for substrata with a bamboo vs. "nothing" trial. In a paired-t, *Atya* selected bamboo over no substrata ($p < 0.0001^*$). Additional results of leaf choice experiments are as follows (clear preferences of each trial are in bold):

-Bamboo vs. indigenous mix (similar to in-situ manipulations) $p = 0.0050^*$
(both 24 days decomposed and colonized in the stream)

-Bamboo (picked green) vs. Bamboo (31 days decomposed) $p = 0.0010^*$

-Bamboo vs. *Cecropia schreberiana* (both 32 days decomposed) $p = 0.0070^*$

-Bamboo vs. plastic strips $p = 0.4018$

-Bamboo vs. indigenous mix (both picked green) $p = 0.2171$

-Bamboo vs. indigenous mix (both picked green) of *Atya* spp., $p = 0.0674$
but with one *Macrobrachium* present per pool

-Bamboo vs. indigenous mix, *Macrobrachium* only $p = 0.0062^*$

*denotes significant result at $\alpha = 0.05$.

*currently awaiting lab results for some leaf species

LITERATURE CITED

- Covich, A.P.; Crowl, T.A. 1994. Responses of a freshwater shrimp to chemical and tactile stimuli from a large decapod predator. *Journal of the North American Benthological Society*. 13(2): 291-298.
- Petersen, R.C.; Cummins, K.W. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*. 4: 343-368.
- Scatena, F.N.; Moya, S.; Estrada, C.; Chinea, J.D. 1996. The first 5 years in the reorganization of aboveground biomass and nutrient use following Hurricane Hugo in the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a): 424-440.

LUQUILLO LONG-TERM ECOLOGICAL RESEARCH

Robert B. Waide

*Institute for Tropical Ecosystem Studies
University of Puerto Rico, PO Box 363682
San Juan, Puerto Rico 00936*

INTRODUCTION

The Luquillo Long-Term Ecological Research (LTER), in its 9th year of operation, continues to focus on the goal of integrating studies of the effects of disturbance on the physical environment and the response of the biota to these changes in environmental gradients. The Luquillo program continues to demonstrate high productivity, with over 247 peer-reviewed publications, 3 books, and 5 special features in journals resulting from our research. In addition, 17 students have received doctorates and 23 have received master's degrees for studies associated with the LTER program.

The 27 scientists funded by the Luquillo LTER and 14 independently funded collaborators continue to share a common research theme and to demonstrate a high degree of interactive inquiry. In addition to our core LTER studies, we have recently initiated investigations on the functional role of biodiversity in our system and the ecology of vectors of emerging diseases. Through three grants from NASA, we have been able to extend LTER studies of land use and the effect of disturbance on ecosystem processes to other areas in Puerto Rico. All of these initiatives have been aided greatly by a strong group of undergraduate and graduate students.

Physical facilities available to the LTER program will undergo a major expansion in the next few years. With funding from NSF, we will acquire a system for voice and data transmission that will provide e-mail and Internet services to the El Verde Field Station. We will also construct living quarters for 18 researchers at the field site. In addition, the University of Puerto Rico is in the process of purchasing a building near the Luquillo Experimental Forest (LEF) to provide office and housing space for LTER in-

vestigators. New offices for the Institute for Tropical Ecosystem Studies are scheduled for completion on the Río Piedras campus in 2002.

RESEARCH ACCOMPLISHMENTS

Research at the Luquillo LTER site is organized around 5 theses or propositions that provide the framework relating to 15 specific experiments or measurements. In the following we discuss recent progress towards examining these five theses and include concise examples of research results:

1. The ecosystem patterns and processes that are active at El Verde and Bisley are continuous over increasing spatial scales so that an understanding of system attributes gained at these two points can lead to accurate predictions at other sites within tabonuco forest.

Field measurements addressing this thesis have been conducted over the last 3 years. During the last year, we have continued to consolidate our understanding of the ecological processes operating in tabonuco forest at our two principal study sites at El Verde and Bisley. As part of this exercise, we have created an integrated, process-based model of Luquillo forests. The focus right now is on long-term forest growth patterns, with the intention that recovery from disturbance can be simulated using our models. With this knowledge, we will attempt to predict ecological conditions at six new sites within tabonuco forest beginning in the next fiscal year.

The hydrology of the riparian and hyporheic zones is also being examined to determine the groundwater flow net and the quantity of groundwater entering the

stream. By linking the hydrology and chemistry of the stream reach, they will be able to calculate the overall flux of nitrogen from groundwater sources to the stream. Based on preliminary findings with groundwater inputs of 5 to 10 percent and NH_4^+ concentrations exceeding 2 ppm in many groundwater samples, it appears that the riparian and hyporheic zones do have a significant impact in reducing the total flux of nitrogen into the stream.

2. At any point in geographical space, the short-term response to disturbance and the subsequent trajectories of recovery are determined by (1) the location of the point along abiotic gradients (physical), (2) the abiotic and biotic conditions at the same time of disturbance (historical), and (3) biotic conditions subsequent/consequent to disturbance (successional). The relative importance of these three factors will vary with the severity of the disturbance.

Work under this thesis encompasses most of our long-term studies of recovery from Hurricane Hugo. Previous studies by the U.S. Department of Agriculture, Forest Service have examined patterns of forest regeneration beginning 11 years after the 1932 hurricane that affected the LEF. The critical early period of succession is being studied intensively in order to provide information necessary to reconstruct a full hurricane cycle. Forest recovery is being studied in the 16-ha Hurricane Recovery Plot, which was sampled for the second times in 1996 to 1997. Data entry and analysis will be completed by early 1998.

3. Anthropogenic disturbances, (e.g., agriculture, charcoal production, timber harvesting, etc.) have different spatial patterns, intensities, and recovery trajectories than individual natural disturbances (hurricanes, landslides, treefall gaps).

This proposition examines the idea that anthropogenic disturbances are qualitatively different than natural disturbances. If this

idea is true, then anthropogenic disturbances may result in combination of unique environmental characteristics that go beyond the extremes normally experienced by forest organisms. Our focus in this study is to determine whether regeneration mechanisms developed as evolutionary responses to natural disturbance are effective after anthropogenic disturbances.

4. Tabonuco forest contains plant and animal species (or groups of species) that alter critical ecosystem processes and successional pathways by modifying the attributes of ecological space in their vicinity.

This thesis suggests that a few important species exert significant control over ecosystem properties by influencing succession at key points. Presence or absence of these species determines successional trajectories and recovery rates. A corollary of this idea is that there is no redundancy in the ecological community, at least for these important species.

Cecropia schreberiana Miq. is one of the characteristic tree species of the Luquillo Mountains of Puerto Rico, due to its abundance and distinctive form and to its manifest link with the hurricane-driven dynamics of Luquillo forests. *C. schreberiana* is a pioneer tree whose population dynamics reflect landscape-level dynamics of forest disturbance and recovery. The species also has a key role in nutrient storage and succession after disturbance. As a pioneer tree, *C. schreberiana* regularly colonizes landslides, treefall gaps, and streamsides, but these are not sufficient to account for the high abundance of *C. schreberiana* in Luquillo forests. Only hurricanes disturb the forest over enough area and often enough to promote the amount of regeneration that maintains *C. schreberiana* as one of the more important tree species in these forests.

5. The disturbance regime prevailing in tabonuco forest over evolutionary time has led to the development of a plant community whose members have varied and complementary ecological characteristics.

This proposition is directed towards understanding the influence of disturbance on species richness in tropical and other forests. In a frequently disturbed environment, plant species are confronted with a wide range of environmental conditions and must develop life history strategies that tradeoff adaptation to certain conditions at the expense flexibility. These tradeoffs should result in a community of species with different and complementary adaptations. Life history characteristics of 14 tree species are being studied to examine this idea.

Information Management

The original goals of the Luquillo LTER information management efforts were to identify candidate data sets and develop accompanying documentation. To date we have catalogued 95 LTER data sets, the majority of which are appropriately documented. At present, an Ad Hoc Information Management Committee is conducting a case-by-case review of metadata to confirm that each data set is adequately described. This review will be completed by February 1998. In addition to the LTER data sets, we have identified and archived 93 other data sets from the Luquillo Experimental Forest that are relevant to our LTER work. Many of these data sets were orphaned after previous funding sources disappeared. Our three information managers routinely enter onto magnetic media 16 data sets for LTER investigators and manipulate another 16 data sets to make them easily available to our scientists.

We have concentrated considerable effort during the past 18 months in making data available through our web site. At present, 36 of our data sets are available on the Internet. We plan to add selected sets to our home page during the next 3 years. Our goal is to have all commonly requested data sets available by the end of the present funding cycle. At the same time, we will continue to add data sets to our catalogue and to maintain the level and quality of services that we offer to our investigators.

Outreach Activities

Thirteen undergraduates from a variety of states (9 students) and Puerto Rico (4 students) have participated in a "tropical ecology research program" at El Verde Field Station over the past 3 years. The program, under the direction of M.R. Willig, is supported by a grant from the Howard Hughes Medical Institution to Texas Tech University. The grant provides a full stipend for each student during the summer and defrays the costs of lodging, travel, and research equipment and supplies. The program requires undergraduates to meet for a 14-day period prior to beginning field work in Puerto Rico, at which time they attend orientation sessions, ecology lectures, statistics lectures, and workshops. Thereafter, each student participates in collective and individual research projects on population and community ecology of invertebrates at the Luquillo LTER site. In addition to the goal of exposing undergraduates to meaningful research experiences, the program is designed to provide Hispanic students in the US with cultural experiences in a setting (Puerto Rico) where they represent the majority ethnic group, as well as to expose Hispanic students from Puerto Rico to a different kind of academic experience.

Cross-Site and International Activities

Cross-Site comparisons and syntheses conducted by scientists associated with the Luquillo LTER program take a variety of forms. Comparisons with single and multiple sites within the LTER Network make up a key part of our overall research program. However, given the location of Puerto Rico and the affinity of its flora and fauna for the tropics, many of our intersite studies are international in nature. Following is a list of ongoing and completed comparative studies by LTER (or other) sites and investigators (tables 1 and 2). Many of the projects listed are part of the regionalization effort of the Luquillo LTER.

Table 1. –Cross-site studies involving the Luquillo LTER and at least one other LTER site.

Sites	Investigator and study
AND	Schowalter - canopy insect comparison
AND	Bormann - comparison of N fixers in roots
AND	Vogts - nitrogen mineralization and leaching study
CWT	Zou/Coleman/Crossley - litter organisms
HBR	Johnson/Silver/Siccama - comparison of variability in soils
HFR	Foster/Boose - legacy of land use
HFR	Foster/Boose - hurricane modeling and assessment
NIN	Blood/Bildstein/Waide - comparison of hurricane effects
SEV	Yates/Waide - comparison of vectors of emerging viruses
SGS	Parton/Pulliam - modeling of forest processes
AND/HBR	Vogts - comparison of litterfall
AND/HBR	Vogts - comparison of leaf, wood, and root decomposition
AND/HBR	Vogts/Siccama - biomass and primary productivity (above and bellowground)
4 sites	Zou/Hendrix/Blair - comparison of earthworm populations
5 sites	Post - Intersite hydrological comparison project
6 sites	McDowell - LINX (Lotic Intersite Nitrogen Experiment)

Table 2. –Cross-site studies involving the Luquillo LTER and at least one other non-LTER site.

Number of sites	Lead investigators, location, and description
1	Lugo and others - Guanica, multiple comparisons
1	Ding/Lugo/Brown - Ding Hu San, China, multiple comparisons
1	Frangi/Lugo - Tierra del Fuego, comparisons with Nothfagus forests
1	Brown/Lugo/U. Andes - tree growth plots in Venezuela
1	Zimmerman/Aide - Dominican Republic, effect of land use on forest regeneration
1	Zimmerman/Wright - Panama, comparison of phenology patterns
2	Pringle/Scatena - Costa Rica, stream hydrology and chemistry
2	Scatena/Free University of Netherlands - Jamaica, cloud forest hydrology
3	McDowell/Lugo - Dominica, St. Lucia, St. Vincent, stream chemistry
3	Myser - Ecuador, Costa Rica, landslide revegetation
12	Thompson - Smithsonian's Center for Tropical Forest Studies, large plot network
300	Scatena - Smithsonian/MAB biodiversity plots

Table 3. –*Network-level studies involving the Luquillo LTER.*

Number of sites	Lead investigator and description
14	Driscoll - Trifluoroacetate adsorption in LTER soils
15	Waide/Willig - comparison of relationship between biodiversity and productivity
17	Thomlinson - MODLERS, NASA/LTER joint project
18	Schaefer - LTER Network climate studies
18	Zou - Standard soil methods for long-term ecological research
28	Schaefer - LIDET, Long-term intersite decomposition experiment

FOREST DYNAMICS AND SOIL CHARACTERISTICS OF MANGROVE PLANTATIONS IN THE SAN JUAN RIVER ESTUARY, VENEZUELA

Robert Twilley

*Department of Biology University of Southwestern Louisiana
and*

Ernesto Medina

*Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
Venezuela, Caracas 1020-A*

INTRODUCTION

Mangroves are one of the dominate features of coastal ecosystems in the tropics providing food and habitat to a variety of trophic levels, as well as influencing nutrient and sediment concentrations in estuarine waters (Lugo and Snedaker 1974). In many parts of the tropics, they are also an important source of timber for charcoal, fence posts, and construction. Twilley (1995) proposed that the specific ecological function of mangrove ecosystems may be related to environmental settings or forcing functions of the system. Based on this hypothesis, the combination of geophysical energies with the geomorphology of the coastal zone is important in establishing the basic patterns in mangrove structure and function. The idea is that the functional ecology of mangroves such as nutrient cycling, succession, productivity, and export will differ according to the ecological type within a specific geomorphological setting. To test this hypothesis, long-term comparative studies on the function of mangroves are needed at different mangrove-dominated tropical estuaries. For example, litter productivity, sedimentation, and organic carbon export have been shown to respond to the various geophysical energies of a coastal region (Twilley 1985, Twilley and others 1986, Twilley 1988, Lynch and others 1989). It is less understood how patterns of succession, or forest regeneration, can be explained by this hierarchical classification system developed by Twilley (1995). This study of mangroves in the San Juan River estuary provides one of the most unique opportunities to directly measure the development of managed mangrove forests in estuarine environments.

Succession in mangroves has often been equated with zonation (Davis 1940), wherein "pioneer species" would be found in the fringe zones, and vegetation changes more landward would "recapitulate" the successional sequence in terrestrial communities. Zonation in mangrove communities has variously been accounted for by a number of biological factors including salinity tolerance of individual species (e.g., Snedaker 1982), seedling dispersal patterns resulting from different sizes of mangrove propagules (Rabinowitz 1978), differential predation by grapsid crabs (Smith 1987), and interspecific competition (Ball 1980). Snedaker (1982) proposed the establishment of stable monospecific zones wherein each species is best adapted to flourish due to the interaction of physiological tolerances of species with environmental conditions. The consideration of changes in mangrove communities in a strictly spatial rather than temporal pattern has contributed to the lack of understanding of succession in these forested wetlands.

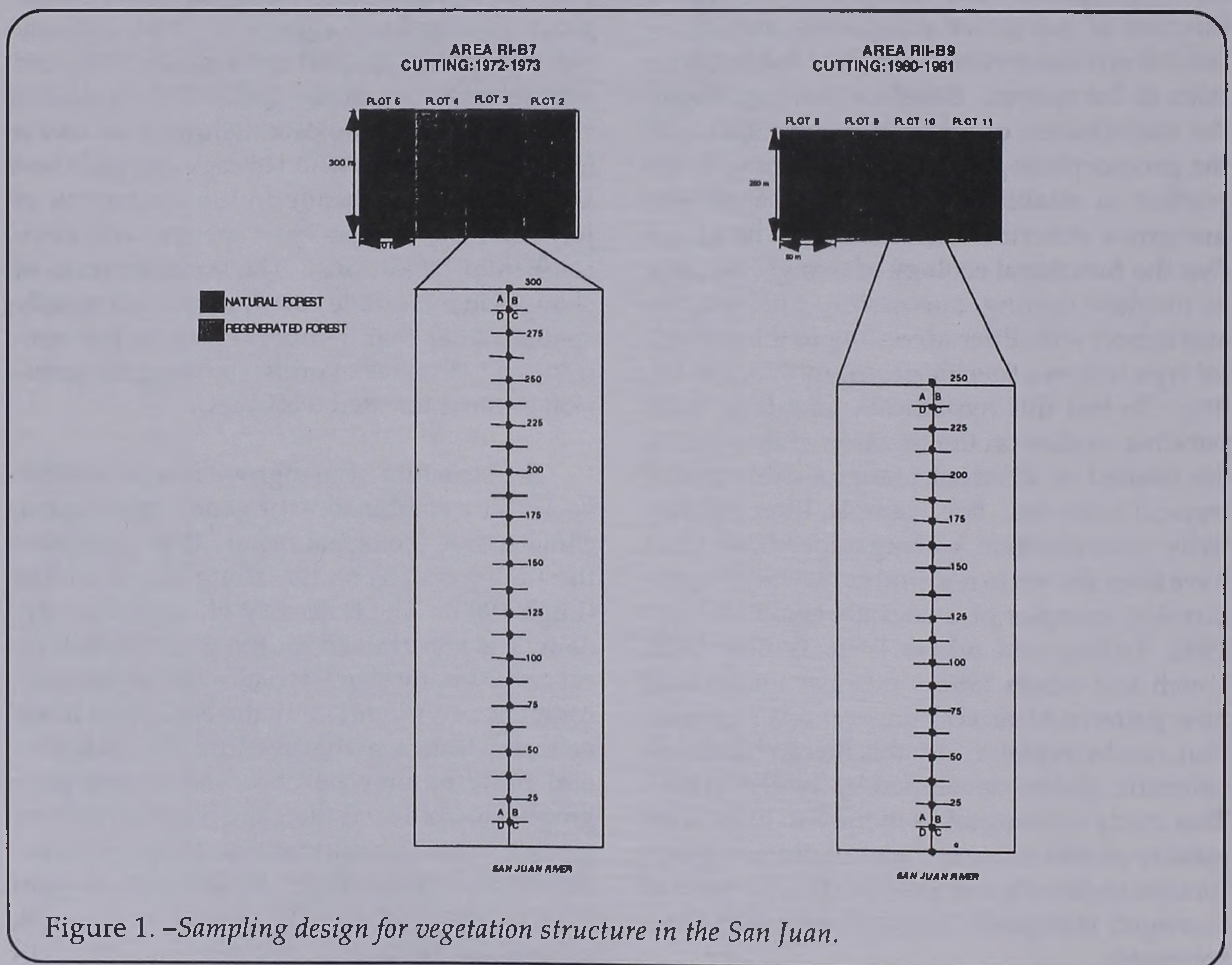
The structure of mangrove forests is influenced by a combination of geomorphological, climate, and ecological factors that determine the patterns of zonation along the shoreline (Lugo 1980). The trajectory of vegetation dynamics is constrained by the geomorphological and climatic characteristics of coastal environment and modified by the ecological interactions within a mangrove forest. Thus, general patterns may be observed within geographic regions, but there are diverse patterns globally based on different land forms that occur in tropical coastlines. In addition, changes in environmental settings caused by drought, subsidence, or tropical cyclones can interrupt

patterns in vegetation development. Seldom do we have sufficient long-term records to distinguish these patterns in mangroves, and there are no models of mangrove succession that can be applied outside specific geographical boundaries. Distinguishing whether spatial patterns in mangrove zonation indicate temporal changes in structure depends on establishing long-term plots with repetitive measures over time. Mangrove plantations along the San Juan River estuary afford an opportunity to investigate the development of mangrove forest structure in an estuary over the last 20 years.

Study Site and Methods

Research sites are located along the San Juan River estuary in the Northern Unit of mangrove forests in the Guarapiche Reserve Forest, State of Monagas, Venezuela. Nearly 20 years ago,

mangrove plots measuring 50 m along the shore by 300 m inland were clear-cut in groups of plots at different sites along the San Juan River estuary. Each site includes clear-cut plots that are interspersed with natural (unharvested) plots of equal size (fig. 1). The location of sites includes areas near the mouth of the La Brea channel that were harvested in 1973 (B7, 10 06.850 N, 62 37.092 W), and a site towards the mouth of the estuary that was harvested in 1981 (B9, 10 08.243 N, 62 37.439 W). All experimental plots were on the west side of the river. We have been involved in a two-phase study: The first is an analysis of existing data collected at these plots during the last 20 years to estimate patterns of forest regeneration. The second phase of this study is to reestablish plots at some of the previous study sites to establish long-term vegetation transects of mangrove forest. Vegetation structure was measured along with



analysis of soil conditions on selected plots and trees, respectively, to understand the mechanisms associated with patterns of change in forest structure.

Mangrove sites along the salinity gradient of the San Juan River estuary were visited during a 14-day field trip in May 1996 and a second trip in May 1997. We established long-term vegetation transects in each of two regeneration plots and two natural plots for four total plots at each site (fig. 1). Forest structure was determined along transects perpendicular to shore using the point-quarter method. Along a 250 m long transect down the center of each plot, points at 12.5-m intervals were established to measure species composition, density, and diameter at breast height (d.b.h.) (above highest prop root) of trees nearest the central point in four quadrats. In each quadrat, the distance and dimensions of trees in each of two size classes were marked - (1) those <10 cm in d.b.h. and (2) those > 10 cm in d.b.h. Each tree was tagged with aluminum markers for future analysis of tree growth (for a total of nearly 600 trees).

Pore water salinity and sulfide were measured at a depth of 15 cm at each of the 12.5-m points along each transect in each plot. In addition, samples were taken at 25-m intervals along transects at the edge of each plot from the shore to 250 m inland. Salinity was determined using a portable Labcomp Instruments model SCT analyzer. Pore water sulfide concentrations were analyzed with a LAZAR Model IS-156 sulfide sensing electrode (Hargis and Twilley 1994a). Redox potential (Eh) was measured with platinum and reference electrodes using a Cole-Palmer ORP meter (Model 5938-10) in the field (Hargis and Twilley 1994b). Bulk density values were based on the dry weight of a known volume of soil for each section of core. Soil organic content was determined by combusting each sample at 450 °C for 4 hours. Total carbon and nitrogen for each sample was determined on a CE Elantech elemental analyzer. Samples were combusted at 950 °C converting all forms of carbon and nitrogen to carbon dioxide and nitrogen gas, re-

spectively. Total phosphate was determined on soil samples decomposed by hydrochloric and nitric acid digestion. Inorganic phosphate content was determined by ALPKEM autoanalyzer.

RESULTS AND DISCUSSION

The size class distribution of trees within each site (B7 and B9) shows patterns of forest regeneration in response to the harvests in 1973 and 1981, respectively (fig. 2). In B7, the largest size trees were 35 and 25 cm in d.b.h. in P2 and P4, respectively, compared to much larger trees of >45 cm in d.b.h. in the natural plots. In the younger site at B9, trees reach sizes of 30 and 25 cm in d.b.h. in P8 and P10, respectively. The size classes distribution of trees in the natural plots at B9 exhibited higher density of smaller size trees than observed at B7 (fig. 3). The frequency of trees in each of the size classes also indicates rates of forest regeneration in each of the sites (figs. 2 and 3). There was nearly a linear decrease in number of trees with increasing size class in the 23-year-old plots (B7, fig. 2), compared to much higher frequency of trees in the smaller size class in the 15-years-old plots (fig. 3). The natural plots at B7 had about 10 trees/0.1 ha in all size classes up to about 30 cm in d.b.h., with fewer trees in each larger size class. However, in B9 nearer the mouth of the estuary, there were a greater number of smaller size class trees up to 20 cm compared to the larger trees in both natural plots. At B7, all size classes in both the regeneration and natural plots were dominated by *Rhizophora*. There was, however, much higher frequency of *Avicennia* in the regeneration plots than observed in the natural plots. This suggests that at this site the initial recruitment of *Avicennia* during the early stages of regeneration were excluded by *Rhizophora* as the forest reached the latter stages of development. At B9, *Rhizophora* also dominated all size classes in both the regeneration and natural plots, but there was much higher frequency of *Laguncularia* in the early stages of regeneration compared to those in B7 (fig. 3). Very few *Laguncularia* were observed in the natural plots at B9. *Avicennia* that were observed in the smaller size classes of the regen-

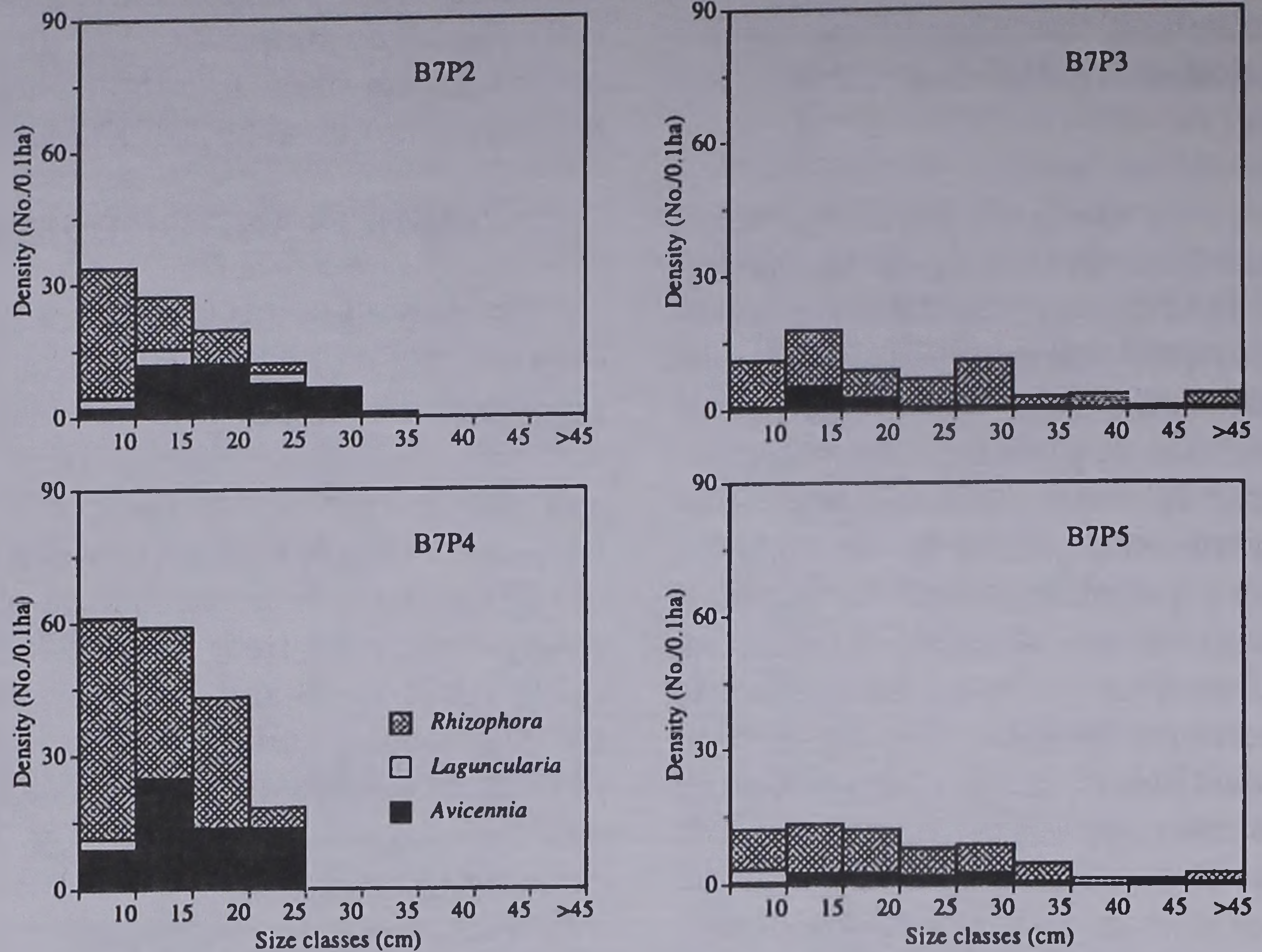


Figure 2. –Size class distribution of mangrove trees in the regeneration (P2 and P4) and natural (P3 and P5) plots in parcels that were harvested in 1973 (B7).

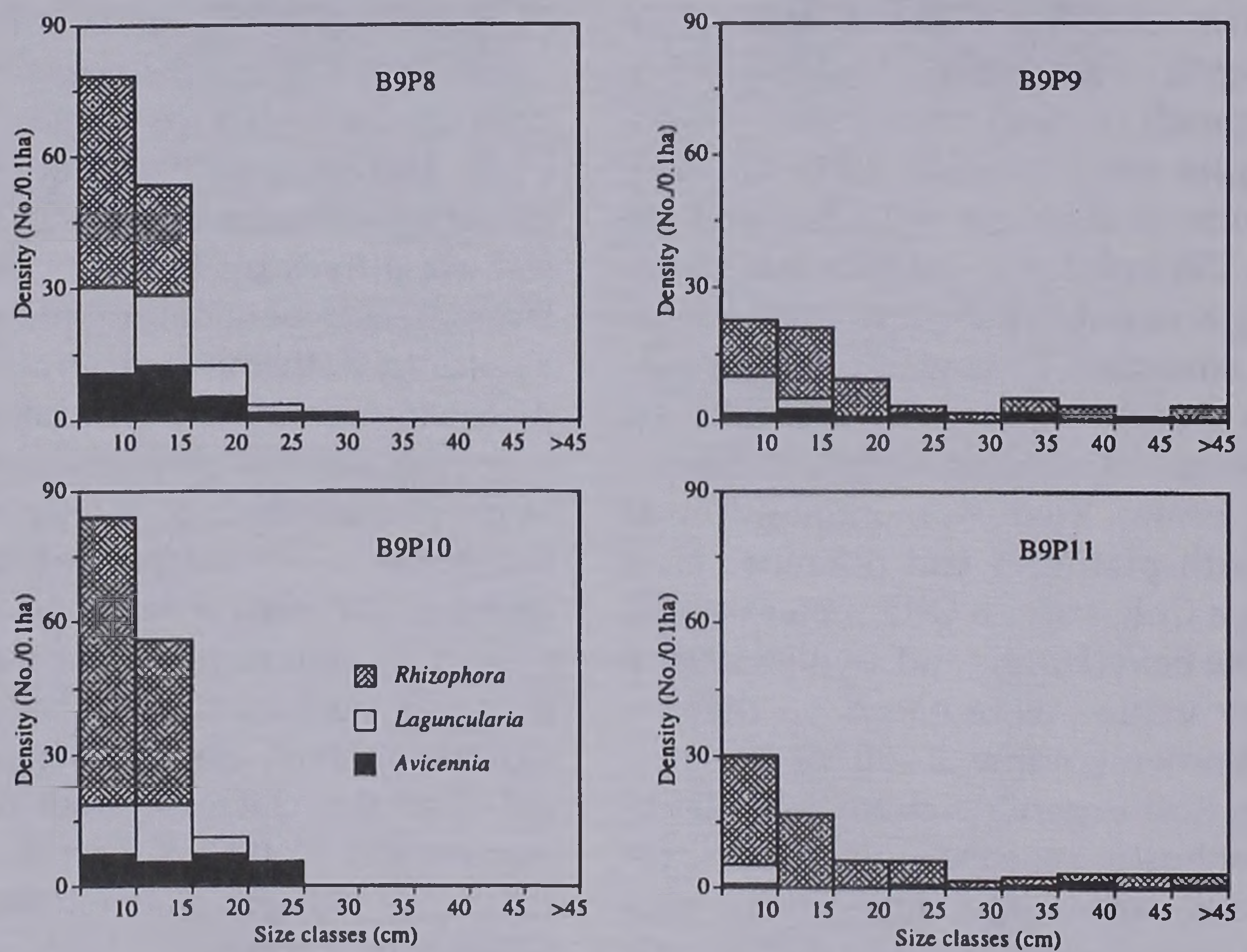
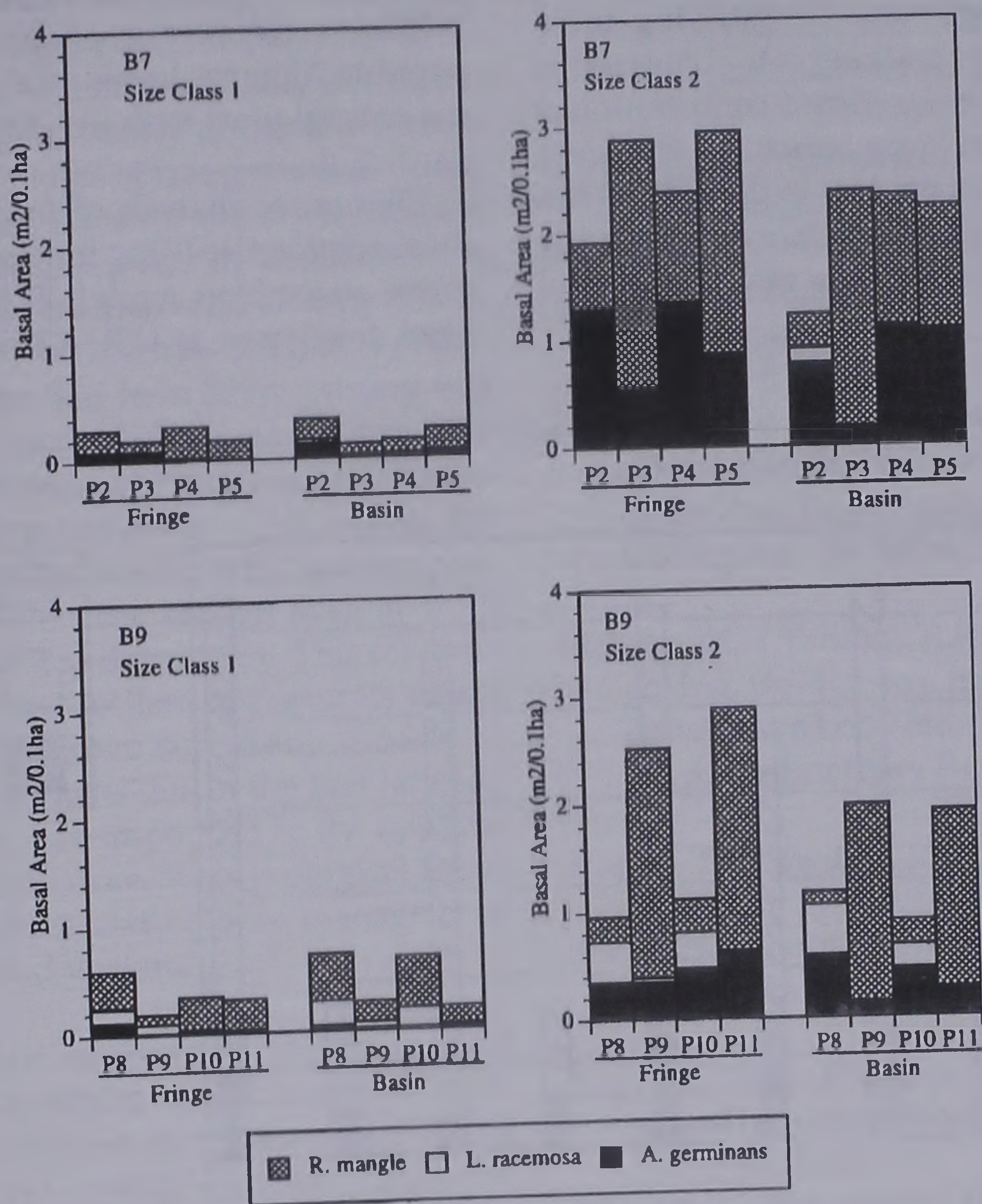


Figure 3. –Size class distribution of mangrove trees in the regeneration (P8 and P10) and natural (P9 and P11) plots in parcels that were harvested in 1982 (B9).

eration plots of B9 were absent in the natural plots as observed in B7.

Measurements of forest development at 23 and 15 years following clear cutting show that nearly 75 and 50 percent, respectively, of the forest structure was regenerated along the San Juan River estuary (fig. 4). The analysis of basal area was separated into two size classes, and the rate of regeneration described below is

based on trees > 10 cm in d.b.h. Also, changes in forest structure were compared between the fringe (0 to 125 m inland) and basin (125 to 250 m inland) regions of the transects. In the fringe forest at B7 (23 years), the total basal area averaged about 75 percent of the natural plots. And while *Avicennia* dominated the basal area of the regeneration plots, *Rhizophora* was dominant in the natural plots (fig. 4). In the basin zone, there was less difference in the regeneration and natu-



Basal area of mangroves .
Regenerated forest P2, P4, P8, P10
Natural forest P3, P5, P9, P11

Figure 4. -Basal area of mangrove trees in two size classes (1 is <10 cm in d.b.h.; 2 is >10 cm in d.b.h.) in the regeneration and natural plots in parcels that were harvested in 1973 (B7) and 1982 (B9). The fringe is the zone from shore to 150 m inland, and the basin is from 150 m to 300 m inland.

ral plots, and values were less than observed in the fringe zone. Although *Avicennia* also dominated the regeneration plots in this zone, *Rhizophora* was dominant in the natural plot P3, but less so in the other natural plot, P5. Differences in plant dominance of the basin zones were related to higher soil salinities in the more inland locations of this plot (data not shown). Patterns of forest regeneration in the fringe and basin zones of B9 were similar at about 50 percent of the forest structure in the natural plots. And as observed in B7, forest structure in the natural forests of the basin zone were markedly lower than the fringe zone. One striking difference in the B9 regeneration plots compared to those in B7 was the significant contribution of *Laguncularia* to total forest structure. However, *Laguncularia* was not evident in the natural forest, which was nearly completely dominated by *Rhizophora* in both the fringe and inland sites (fig. 4).

Biomass of each plot was calculated using the forest dimensions measured in this study and the biomass equations in Cintrón and Schaeffer-Novelli (1984). Biomass in the natural plots at both B7 and B9 (including trees of both size classes) was consistently about 300 t/ha (fig. 5). The highest recorded biomass in mangrove forests is about 450 t/ha (Twilley and others 1992), which decreases with latitude. Mangrove biomass in this study fits the general global pattern given the latitude of the study sites. The 23-year regeneration plots had biomass levels of about 50 percent of the natural plots at B7 (average of about 150 t/ha), compared to biomass levels of about 23 percent of the natural plots in the 15-year site at B9.

Temporal analysis of forest dimensions in these areas is also being interpreted with a mangrove succession model, FORMAN, that has been developed at USL (Chen and Twilley, in

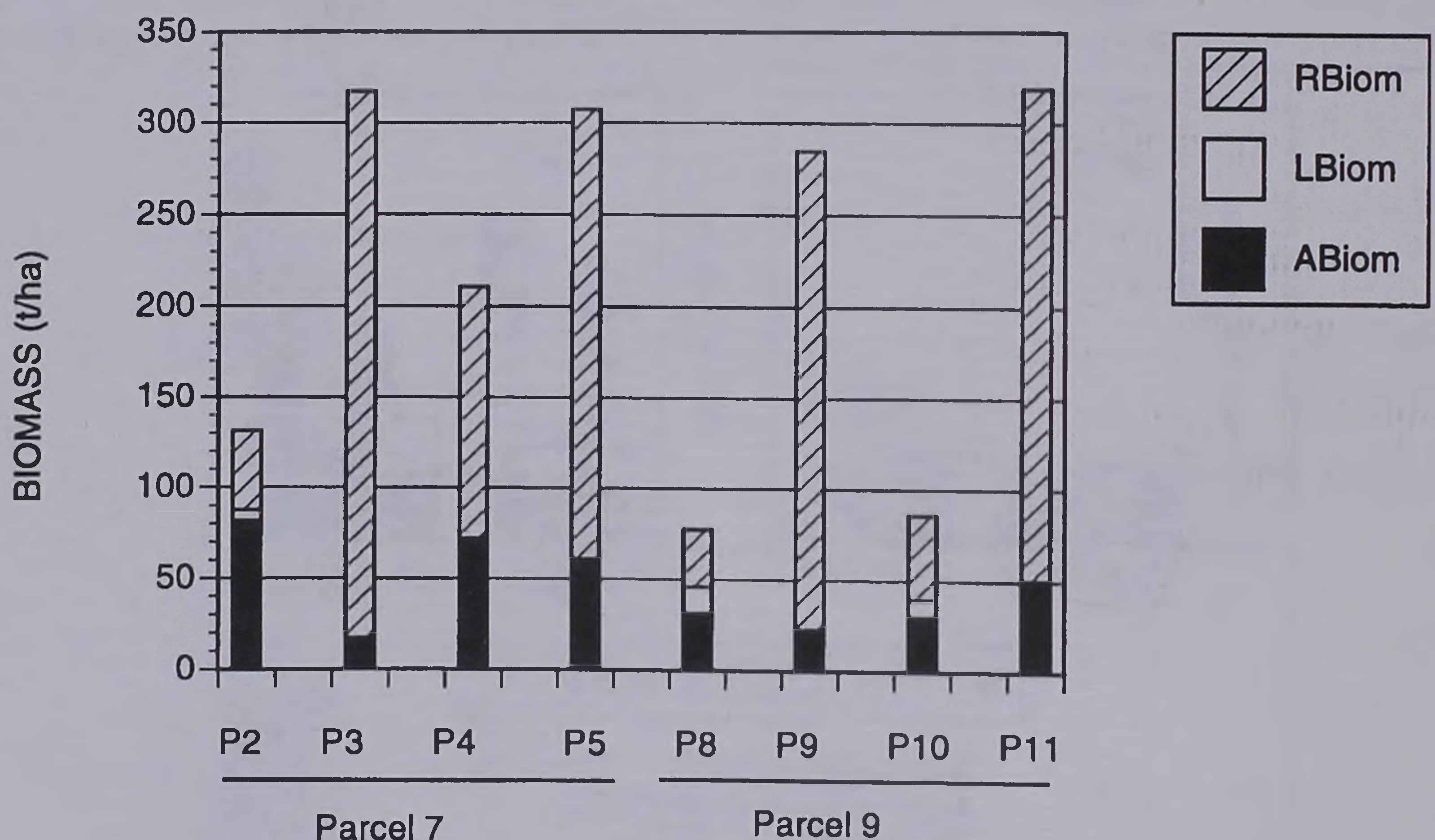


Figure 5. —Biomass of mangrove trees by species (RBiom = *Rhizophora*; LBiom = *Laguncularia*; ABiom = *Avicennia*) in the regeneration (P2, P4, P8, P10) and natural plots (P3, P5, P9, P11) in parcels that were harvested in 1973 (B7) and 1982 (B9).

press). This model simulates changes in species composition and biomass of mangrove forests with time using a hybrid of the individual-based models of Shugart and West (1977) and ecosystem models of nutrient and carbon flow. The succession models were developed and parameterized using mangroves in lagoon ecosystems and validated for other mangrove sites in southwest Florida. Parameterization of mangrove response to basic factors (light, salinity, relative nutrient availability, and temperature) used in the ecological model are based on generalities of published information. The study of mangrove plantations in the San Juan River estuary will help us test the quality of this parameterization, particularly nutrient availability, by measuring rates of tree growth at different soil fertilities. We used sensitivity tests to produce a generic behavior of the succession model by varying nutrient and salinity conditions in the soil. The biomass estimates of mature forests in the San Juan River estuary will allow us to test model behavior by comparing observed and projected biomass at low salinity and high nutrient scenarios. This will be the first test of the model in a different geomorphological setting than the lagoon system from which the model was developed. This research project gives us an excellent opportunity to test the utility of mangrove succession models to simulate forest dimensions in the low latitude tropics. This is very important to the application of projections from these ecological models to address issues relative to the management of coastal forested wetlands.

The complete analysis of vegetation and soils, along with results of the simulation modeling of the mangrove silviculture sites along the San Juan River estuary, is presently in preparation and will be submitted as a special issue of the journal 'Forest Ecology and Management'. This special issue will also include descriptions of hydrography, wetland and soil distribution, and physiological indicators of plant stress along the entire estuary boundary. A workshop was held at the International Institute of Tropical Forestry from 30 June to 3 July 1997 to discuss preparations of manuscripts for

the special issue and to develop a synthesis of existing information concerning the mangrove silviculture study and wetland ecology of the San Juan River estuary.

LITERATURE CITED

- Ball, M.C. 1980. Patterns of secondary succession in a mangrove forest of southern Florida. *Oecologia*. 44: 226-235.
- Chen, R.; Twilley, R.R. [In press]. A gap dynamic model of mangrove forest development along gradients of soil nutrient resource and salt stress. *Journal of Ecology*.
- Cintrón, G.; Schaeffer-Novelli, Y. 1984. Características y desarrollo estructural de los manglares de Norte y Sur América. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 25: 4-15.
- Davis, J.H., Jr. 1940. The ecology and geologic role of mangroves in Florida. *The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. 26: 307-425.
- Hargis, T.G.; Twilley, R.R. 1994a. Improved coring device for measuring soil bulk density in a Louisiana Deltaic Marsh. *Journal of Sedimentary Research*. A64: 681-683.
- Hargis, T.G.; Twilley, R.R. 1994b. Multi-Depth Probes for Measuring Oxidation-Reduction (Redox) Potential in Wetland Soils. *Journal of Sedimentary Research*. A64: 684-685.
- Lugo, A. 1980. Mangrove ecosystems: successional or steady state? *Biotropica*. 12: 65-72.
- Lugo, A.E.; Snedaker, S.C. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 5: 39-64.
- Lynch, J.C.; Meriwether, J.R.; McKee, B.A.; Vera-Herrera, F.; Twilley, R.R. 1989. Recent accretion in mangrove ecosystems based on ^{137}Cs and ^{210}Pb . *Estuaries*. 12: 284-299.

- Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedlings in Panama, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography*. 5: 113-133.
- Shugart, H.H.; West, D.C. 1977. Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. *Journal of Environmental Management*. 5: 161-179.
- Smith, T.J., III. 1987. Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology*. 68: 266-273.
- Snedaker, S. 1982. Mangrove species zonation: why? In: D. Sen d K. Rajpurohit, eds. *Tasks for Vegetation Science*, Vol. 2. Junk, The Hague. 111-125.
- Twilley, R.R. 1985. The exchange of organic carbon in basin mangrove forests in a southwest Florida estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 20: 543-557.
- Twilley, R.R.; Lugo, A.E.; Patterson-Zucca, C. 1986. Production, standing crop, and decomposition of litter in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology*. 67: 670-683.
- Twilley, R.R. 1988. Coupling of mangroves to the productivity of estuarine and coastal waters. In: Jansson, B.O., ed. *Coastal-Offshore Ecosystem Interactions*. Springer-Verlag, Germany. 155-180.
- Twilley, R.R.; Chen, R.H.; Hargis, T. 1992. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*. 64: 265-288.
- Twilley, R.R. 1995. Energy signature and properties of mangrove ecosystems. In: Hall, C., ed. *Maximum power*. University of Colorado Press. ____.

- A. Recent Publications of the International Institute of Tropical Forestry
(Numbers indicate reprints available for distribution).
Publicaciones recientes del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical Forestal
(Números indican disponibilidad de separatas para distribución).
- 001 Ackerman, J.D.; Moya, S. 1996. Hurricane aftermath: resiliency of an orchid-pollinator interaction in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 32(4): 369-374.
- 002 Aide, T.M.; Zimmerman, J.K.; Rosario, M.; Marcano, H. 1996. Forest recovery in abandoned cattle pastures along an elevational gradient in northeastern Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a): 537-548.
- 003 Chinea-Rivera, J.D. 1995. Production, dispersal and dormancy of seeds of *Albizzia procera* (Roxb.) Benth., a woody weed of pastures in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 79(3-4): 163-171.
- 004 Cintrón, G. 1994. Los bosques de manglar en Puerto Rico: perspectiva histórica de la administración de estos terrenos. *Acta Científica*. 8(1-2): 51-56.
- 005 Covich, A.P.; Crowl, T.A.; Johnson, S.L.; Pyron, M. 1996. Distribution and abundance of tropical freshwater shrimp along a stream corridor: response to disturbance. *Biotropica*. 28(4a): 484-492.
- Devall, M.S., Parresol, B.R.; Le, K. 1996. Dendroecological analysis of Laurel (*Cordia alliodora*) and other species from a lowland moist tropical forest in Panamá. In: Dean, J.S.; Meko, D.M.; Swetnam, T.W., eds. *Tree Rings, Environment and Humanity*. RADIOCARBON 1996. 395-404.
- Domínguez Cristóbal, C.M. 1994. Evolución histórica de los terrenos públicos en Puerto Rico durante el siglo XIX: la situación de los bosques. *Acta Científica*. 8(1-2): 45-49.
- Domínguez Cristóbal, C.M. 1994. La reinita: candidato a ave nacional de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(3): 139-140.
- Domínguez Cristóbal, C.M. 1994. Presencia del árbol y la flor de maga en el acontecer histórico de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(3): 141-143.
- Domínguez Cristóbal, C.M. 1994. Presencia del árbol de Ceiba en el acontecer histórico de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(3): 145-149.
- Domínguez Cristóbal, C.M. 1995. Evaluación histórica de los terrenos públicos en Puerto Rico durante el siglo XIX: la situación de los bosques. *Iconos*. 1(10): 6-9.
- Domínguez Cristóbal, C.M. 1997. El Bosque Nacional del Caribe (1898-1963) (El Yunque). *Iconos*. 11(13-14): 15-24. [Revista del Departamento de Comunicación, Colegio Universitario de Humacao, UPR].

- Domínguez Cristóbal, C.M. 1997. La historia de la Sierra de Luquillo (Bosque Nacional del Caribe) Parte I. *Tiempo Libre* [Revista del Departamento de Educación de la UPR] Febrero 1997:5-8.
- 006 Ellison, A.M.; Farnsworth, E.J. 1996. Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica*. 28(4a): 549-565.
- Eusse Calderón, A.M. 1996. Productivity and regeneration patterns of *Pterocarpus officinalis*, a tropical forested wetland tree. Río Piedras, Puerto Rico: University of Puerto Rico, Río Piedras Campus. M.S. Thesis. 90 p.
- Everham, III, E.M.; Myster, R.W.; Van De Genachte, E. 1996. Effects of light, moisture, temperature, and litter on the regeneration of five tree species in the tropical montane wet forest of Puerto Rico. *American Journal of Botany*. 83(8): 1063-1068.
- 007 Faaborg, J.; Dugger, K.M.; Arendt, W.J.; Woodworth, B.L.; Baltz, M.E. 1997. Population declines of the Puerto Rican Vireo in Guánica forest. *The Wilson Bulletin*. 109(2): 195-202.
- Francis, J.K. 1997. Growth and yield of unthinned Honduras pine to small sawlog sizes. Abstracts 9th Biennial Southern Silvicultural Research Conference; 1997 February 25-27; Clemson, South Carolina. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC and Clemson University Cooperative Extension Service. Clemson, SC. 42 p.
- 008 Francis, J.K.; Parresol, B.R.; de Patiño, J.M. 1996. Probability of damage to sidewalks and curbs by street trees in the tropics. *Journal of Arboriculture*. 22(4): 193-197.
- 009 Fu, S.; Rodríguez Pedraza, C.; Lugo, A.E. 1996. A twelve-year comparison of stand changes in a mahogany plantation and a paired natural forest of similar age. *Biotropica*. 28(4a): 515-524.
- García-Martinó, A.R., G.S. Warner, F.N. Scatena, and D.L. Civco. 1996. GIS prediction of rainfall and runoff volumes in eastern Puerto Rico. In: Hallam, C.A.; Salisbury, H.M.; Lanfear, K.J.; Battaglin, W.A., eds. *GIS and Water Resources. Proceedings of the American Water Resources Association (AWRA) Annual Symposium. TPS-96-3. Herndon, VA: AWRA: 417-426.*
- 010 García-Martinó, A.R.; Warner, G.S.; Scatena, F.N.; Civco, D.L. 1996. Rainfall, runoff and elevation relationships in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 32(4): 413-424.
- 011 García-Martinó, A.R.; Scatena, F.N.; Warner, G.S.; Civco, D.L. 1996. Statistical low flow estimation using GIS analysis in humid montane regions in Puerto Rico. *Water Resources Bulletin. (Journal of the American Water Resources Association)* 32(6): 1259-1271.
- Gonser, R.A.; Collura, R.V. 1996. Waste not, want not: toe-clips as a source of DNA. *Journal of Herpetology*. 30(3): 445-447.
- Gonser, R.A.; Woolbright, L.L. 1995. Homing behavior of the Puerto Rican frog, *Eleutherodactylus coqui*. *Journal of Herpetology*. 29(3): 481-484.

- González, G.; Zou, X.; Borges, S. 1996. Earthworm abundance and species composition in abandoned tropical croplands: comparisons of tree plantations and secondary forests. *Pedobiologia*. 40: 385-391.
- González-Cabán, A.; Loomis, J. 1997. Economic benefits of maintaining ecological integrity of Rio Mameyes, in Puerto Rico. *Ecological Economics*. 21: 63-75.
- 012 Harcourt, C.; Scatena, F.N.; Weaver, P.L. 1996. Puerto Rico. In: Harcourt, C.S.; Sayer, J.A., eds. *The Conservation Atlas of Tropical Forests: The Americas*. New York: Simon and Schuster; 138-143. Chapter 14.
- 013 Jenkins, M.; Harcourt, C.; Bass, S.; Chalmers, D.; Wadsworth, F. 1996. Lesser Antilles. In: Harcourt, C.S.; Sayer, J.A., eds. *The Conservation Atlas of Tropical Forests: The Americas*. New York: Simon and Schuster; 120-137. Chapter 13.
- 014 Jenkins, M.; Harcourt, C.; Ottenwalder, J.; Figueroa-Colón, J. 1996. Cuba. In: Harcourt C.S.; Sayer, J.A., eds. *The Conservation Atlas of Tropical Forests: The Americas*. New York: Simon and Schuster; 95-101. Chapter 10.
- 015 Keller, M.; Clark, D.A.; Clark, D.B.; Weitz, A.M.; Veldkamp, E. 1996. If a Tree Falls in the Forest. *Science*. 273: 201.
- 016 Keller, M.; Melillo, J.; de Mello, W.Z. 1997. Trace gas emissions from ecosystems of the Amazon basin. *Ciencia e Cultura*. [Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science]. 49(1-2): 87-97.
- 017 Kjerfve, B.; de Lacerda, L.D.; Diop, E.H.S., eds. 1997. *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. Cosponsored by UNESCO, International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), and U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. Paris: UNESCO. 349 p.
- 018 Latta, S.C.; Wunderle, Jr., J.M. 1996. Ecological relationships of two todies in Hispaniola: effects of habitat and flocking. *The Condor*. 98: 769-779.
- 019 Lerda, M.; Keller, M. 1997. Controls on isoprene emission from trees in a subtropical dry forest. *Plant, Cell and Environment*. 20: 569-578.
- 020 Lodge, D.J. 1997. Factors related to diversity of decomposer fungi in tropical forests. *Biodiversity and Conservation*. 6: 681-688.
- 021 Lugo, A.E. 1994. A conservation strategy for Puerto Rico as it approaches the 21st century. *Acta Científica*. 8(3): 129-133.
- Lugo, A.E. 1994. Terrenos públicos, fragmentación y la biodiversidad de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 31-35.
- Lugo, A.E. 1995. Uso de las zonas boscosas de la America Latina tropical. In: Gallopin, G.C.; comp. Gómez, I.A.; Pérez, A.A.; Winograd, M. collabs. *El Futuro Ecológico de un Continente: Una Visión Prospectiva de la America Latina*. Lecturas 79. Editorial de la Universidad de las Naciones Unidas, Tokio: 548-571.
- 022 Lugo, A.E. 1996. Making room for the city. *Nature and Resources*. 32(2).

- 023 Lugo, A.E. 1997. Old-growth mangrove forests in the United States. *Conservation Biology*. 11(1): 11-20.
- Lugo, A.E., ed. 1994. *Acta Científica*. 8(1-2).
- Lugo, A.E., ed. 1994. *Acta Científica*. 8(3).
- 024 Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica*. 28(4a): 585-599.
- 025 McDowell, W.H.; McSwiney, C.P.; Bowden, W.B. 1996. Effects of hurricane disturbance on groundwater chemistry and riparian function in a tropical rain forest. *Biotropica*. 28(4a): 577-584.
- 026 McNabb, K.L.; Miller, M.S.; Lockaby, B.G.; Stokes, B.J.; Clawson, R.G.; Stanturf, J.A.; Silva, J.N.M. 1997. Selection harvests in Amazonian rainforests: long-term impacts on soil properties. *Forest Ecology and Management*. 93: 153-160.
- 027 Morales Cardona, T.; Ruíz, B.; Lugo, A.E.; Morris, G. 1994. Un llamado a la acción para salvaguardar el patrimonio natural y la calidad de vida en Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 67-70.
- 028 Myster, R.W. 1997. Seed predation, disease and germination on landslides in neotropical lower montane wet forest. *Journal of Vegetation Science*. 8: 55-64.
- 029 Myster, R.W.; Walker, L.R. 1997. Plant successional pathways on Puerto Rican landslides. *Journal of Tropical Ecology*. 13: 165-173.
- Parresol, B.R.; Alemañy, S. 1997. Analysis of tree damage from Hurricane Hugo in the Caribbean National Forest, Puerto Rico. Abstracts 9th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, 1997 February 25-27; Clemson, South Carolina. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC and Clemson University Cooperative Extension Service. Clemson, SC. 38 p.
- 030 Parrotta, J.A.; Baker, D.D.; Fried, M. 1996. Changes in dinitrogen fixation in maturing stand of *Casuarina equisetifolia* and *Leucaena leucocephala*. *Canadian Journal of Forest Research*. 26: 1684-1691.
- 031 Parrotta, J.A.; Francis, J.K.; de Almeida, R.R. 1995. Trees of the Tapajós: a photographic field guide. Gen. Tech. Rep. IITF-1. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 370 p.
- Parrotta, J.A.; Roshetko, J.M. 1997. *Albizia procera* - white siris for reforestation and agroforestry. FACT 97-01. FACT Sheet (a quick guide to multipurpose trees from around the world). FACT Net (Forest, Farm, and Community Tree Network) Morrilton, Arkansas: Winrock International, 2 p.
- Ramos, O.M.; Lugo, A.E. 1994. Mapa de la vegetación de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 63-66.
- 032 Samuels, G.J.; Lodge, D.J. 1996. *Rogersonia*, a new genus of the Hypocreales. *Sydowia*. 48(2): 250-254.

- 033 Sánchez, M.J.; López, E.; Lugo, A.E. 1997. Chemical and physical analyses of selected plants and soils from Puerto Rico (1981-1990). Res. Note IITF-RN-1. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 112 p.
- 034 Scatena, F.N.; Moya, S.; Estrada, C.; China, J.D. 1996. The first five years in the reorganization of aboveground biomass and nutrient use following Hurricane Hugo in the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a): 424-440.
- 035 Schowalter, T.D. 1994. Invertebrate community structure and herbivory in a tropical rain forest canopy in Puerto Rico following Hurricane Hugo. *Biotropica*. 26(3): 312-319.
- 036 Schowalter, T.D. 1995. Canopy invertebrate community response to disturbance and consequences of herbivory in temperate and tropical forests. *Selbyana*. 16(1): 41-48.
- 037 Secrest, M.F.; Willig, M.R.; Peppers, L.L. 1996. The legacy of disturbance on habitat associations of terrestrial snails in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a): 502-514.
- 038 Silver, W.L.; Scatena, F.N.; Johnson, A.H.; Siccama, T.G.; Watt, F. 1996. At what temporal scales does disturbance affect belowground nutrient pools? *Biotropica*. 28(4a): 441-457.
- Simmons, C.S. 1997. Forest management practices in the Bayano region of Panamá: cultural variations. *World Development*. 25(6): 989-1000.
- 039 Steadman, D.W.; Norton, R.L.; Browning, M.R.; Arendt, W.J. 1997. The birds of St. Kitts, Lesser Antilles. *Caribbean Journal of Science*. 33(1-2): 1-20.
- 040 Thomlinson, J.R.; Serrano, M.I.; López, T.M.; Aide, T.M.; Zimmerman, J.K. 1996. Land-use dynamics in a post-agricultural Puerto Rican landscape (1936-1988). *Biotropica*. 28(4a): 525-536.
- 041 Veldkamp, E.; Keller, M. 1997. Fertilizer-induced nitric oxide emissions from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 48: 69-77.
- 042 Veldkamp, E.; Keller, M. 1997. Nitrogen oxide emissions from a banana plantation in the humid tropics. *Journal of Geophysical Research*. 102(D13): 15,889-15,898.
- 043 Vogt, K.; Vogt, D.J.; Palmiotto, P.A.; Boon, P.; O'Hara, J.; Asbjornsen, H. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*. 187: 159-219.
- Vogt, K.A.; Vogt, D.J.; Boon, P.; Covich, A.; Scatena, F.N.; Asbjornsen, H.; O'Hara, J.L.; Pérez, J.; Siccama, T.G.; Bloomfield, J.; Ranciatto, J.F. 1996. Litter dynamics along stream, riparian and upslope areas following Hurricane Hugo, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a): 458-470.
- Wadsworth, F.H. 1994. Reforestación sí, pero ¿dónde? y ¿por quién? *Acta Científica*. 8(3).
- Wadsworth, F.H., ed. 1996. *ISTF News* 17(2).
- Wadsworth, F.H., ed. 1996. *ISTF News* 17(3).

- 044 Walker, L.R.; Zarin, D.J.; Fetcher, N.; Myster, R.W.; Johnson, A.H. 1996. Ecosystem development and plant succession on landslides in the Caribbean. *Biotropica*. 28(4a): 566-576.
 - 045 Warner, G.S.; García-Martinó, A.R.; Scatena, F.N.; Civco, D.L. 1996. Watershed characterization by GIS for low flow prediction. In: Hallam, C.A.; Salisbury, H.M.; Lanfear, K.J.; Battaglin, W.A., eds. *GIS and Water Resources. Proceedings of the American Water Resources Association (AWRA) Annual Symposium*. Herndon, VA: AWRA: 399-405.
 - 046 Weaver, P.L. 1996. *Cyrilla racemiflora* L. Swamp cyrilla. *Cyrillaceae*, *Cyrilla* family. SO-ITF-SM-78. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 12 p.
 - 047 Weitz, A.M.; Grauel, W.T.; Keller, M.; Veldkamp, E. 1997. Calibration of time domain reflectometry technique using undisturbed soil samples from humid tropical soils of volcanic origin. *Water Resources Research*. 33(6): 1241-1249.
 - 048 Willig, M.R.; Moorhead, D.L. Cox, S.B.; Zak, J.C. 1996. Functional diversity of soil bacterial communities in the Tabonuco forest: interaction of anthropogenic and natural disturbance. *Biotropica*. 28(4a): 471-483.
 - 049 Woolbright, L.L. 1996. Disturbance influences long-term population patterns in the Puerto Rican frog, *Eleutherodactylus coqui* (Anura: Leptodactylidae). *Biotropica*. 28(4a): 493-501.
 - 050 Wunderle, J.M., Jr.; Latta, S.C. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical*. 7: 19-34.
 - 051 Zarin, D.J.; Johnson, A.H. 1995. Base saturation, nutrient cation, and organic matter increases during early pedogenesis on landslide scars in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Geoderma*. 65: 317-330.
 - 052 Zimmerman, J.K.; Willig, M.R.; Walker, L.R.; Silver, W.L. 1996. Introduction: disturbance and Caribbean ecosystems. *Biotropica*. 28(4a): 414-423.
 - 053 Zou, X.M.; González, G. 1997. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pastures. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(3-4): 627-629.
- B. Other publications available for distribution.
Otras publicaciones disponibles para distribución.
- 054 Acevedo-Rodríguez, P. en colaboración con Woodbury, R.O. 1985. Los bejucos de Puerto Rico. Volume I. Forest Service Gen. Tech. Rep. SO-58. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station. 331 p.
 - 055 Anderson, R.L.; Birdsey, R.A.; Barry, P.J. 1982. Incidence of damage and cull in Puerto Rico's timber resource, 1980. Res. Bull. SO-88. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station: 1-13.

- 056 Arendt, W.J. 1988. Range expansion of the cattle egret (*Bubulcus ibis*) in the greater Caribbean basin. *Colonial Waterbirds*. 11(2): 252-262.
- 057 Arendt, W.J.; Arendt, A.I. 1988. Aspects of the breeding of the cattle egret (*Bubulcus ibis*) in Monserrat, West Indies, and its impact on nest vegetation. *Colonial Waterbirds*. 11(1): 72-84.
- 058 Barres, H. 1964. Rooting media for growing pine seedlings in hydroponic culture. Res. Note No. 2. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 059 Bauer, G.P.; Gillespie, A.J.R. 1990. Volume tables for young plantation-grown hybrid mahogany (*Swietenia macrophylla* x *S. mahagoni*) in the Luquillo Experimental Forest of Puerto Rico. Res. Pap. SO-257. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- 060 Birdsey, R.A. and D. Jiménez. 1985. The forests of Toro Negro. Res. Pap. SO-222. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 29 p.
- 061 Birdsey, R.A.; Weaver, P.L. 1987. Forest area trends in Puerto Rico. Forest Service Res. Note SO-331. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p.
- 062 Birdsey, R.A.; Weaver, P.L.; Nicholls, C.F. 1986. The forest resources of St. Vincent, West Indies. Res. Pap. SO-229. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 25 p.
- 063 Bokkestijn, A.; Francis, J.K. 1988. *Khaya senegalensis* Juss. Dry-zone mahogany. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-5. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 064 Briscoe, C.B. 1962. Tree diameter growth in the dry limestone hills. Tropical Forest Note ITF-12. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 065 Briscoe, C.B. 1962. Crecimiento en diámetro de los árboles en los cerros de la región caliza seca. Apuntes Forestales Tropicales IITF-12. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 066 Briscoe, C.B.; Nobles, R.W. 1962. Height and growth of mahogany seedlings. Tropical Forest Note ITF-13. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 067 Carey, E.V.; Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. 1994. Tree mortality in mature lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. *Biotropica*. 26(3): 255-265.

- 068 Chinae-Rivera, J.D. 1990. *Ceiba pentandra* (L) Gaertn. Ceiba, kapok, silk cotton tree. Bombacaceae. Bombax family. SO-ITF-SM-29. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 069 Chinae, J.D.; Beymer, R.J.; Rivera, C.; Sastre, I.; Scatena, F.N. 1993. An annotated list of the flora of Bisley area, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico, 1987 to 1992. Gen. Tech. Rep. SO-94. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 12 p.
- 070 Chudnoff, M.; Goytía, E. 1967. The effect of incising on drying, treatability, and bending strength of fence posts. Res. Pap. ITF-5. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 20 p.
- 071 Chudnoff, M.; Maldonado, E.D.; Goytía, E. 1966. Solar drying of tropical hardwoods. Res. Pap. ITF-2. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 26 p.
- 072 Crow, T.R.; Weaver, P.L. 1977. Tree growth in a moist tropical forest of Puerto Rico. Res. Pap. ITF-22. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 17 p.
- 073 Englerth, G.H. 1959. Air drying conditions for lumber in the San Juan area. Tropical Forest Note 1. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 2 p.
- 074 Englerth, G.H.; Maldonado, E.D. 1961. Bamboo for fence posts. Tropical Forest Note 6. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. [Also available in Spanish as Apuntes Forestales Tropicales ITF-6].
- 075 Ewel, J.J.; Whitmore, J.L. 1973. The ecological life zones of Puerto Rico and the United States Virgin Islands. Forest Service Res. Pap. ITF-18. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 72 p.
- 076 Figueroa Colón, J.C. 1996. Phytogeographical trends, centers of high species richness and endemism, and the question of extinctions in the native flora of Puerto Rico. In: Figueroa Colón, J.C., ed. The Scientific Survey of Puerto Rico and the Virgin Islands. Volume 776 of the Annals of the New York Academy of Sciences. New York: The Academy. 89-102.
- 077 Figueroa Colón, J.C.; Wadsworth, F.H.; Branham, S., eds. 1987. Management of the forests of tropical America: prospects and technologies. Proceedings of a conference. 1986 September 22-27; San Juan, Puerto Rico. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 469 p.
- 078 Figueroa Colón, J.C.; Woodbury, R.O. 1996. Rare and endangered plant species of Puerto Rico and the Virgin Islands: an annotated checklist. In: Figueroa Colón, J.C., ed. The Scientific Survey of Puerto Rico and the Virgin Islands. Volume 776 of the Annals of the New York Academy of Sciences. New York: The Academy. 65-71.

- 079 Francis, J.K. 1988. *Agathis robusta* (C. Moore ex F. Muell) F.M. Bailey. Queensland kauri. Araucariaceae. Araucaria family. SO-ITF-SM-10. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 080 Francis, J.K. 1988. *Araucaria heterophylla* (Salisb.) Franco. Norfolk-Island-Pine. Araucariaceae. Araucaria family. SO-ITF-SM-11. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 081 Francis, J.K. 1988. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Guanacaste, earpod-tree. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-15. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 082 Francis, J.K. 1988. *Eucalyptus deglupta* Blume. Kamarere. Myrtaceae. Myrtle family. SO-ITF-SM-16. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 083 Francis, J.K. 1988. *Hernandia sonora* L. Mago, toporite. Hernandiaceae. Hernandia family. SO-ITF-SM-13. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 3 p.
- 084 Francis, J.K. 1988. *Maesopsis eminii* Engl. Musizi. Rhamnaceae. Buckthorn family. SO-ITF-SM-8. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 085 Francis, J.K. 1988. Merchantable volume table for ucar in Puerto Rico. Res. Note SO-350. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico. 3 p.
- 086 Francis, J.K. 1988. *Terminalia ivorensis* (A. Chev.). Idigbo, emire. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-12. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 087 Francis, J.K. 1989. *Bucida buceras*. L. Úcar. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-18. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 088 Francis, J.K. 1989. The Luquillo Experimental Forest Arboretum. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 089 Francis, J.K. 1989. *Mammea americana* L. Mamey, Mammee-apple. Guttiferae. Mangosteen family. SO-ITF-SM-22. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 090 Francis, J.K. 1989. Merchantable volume and weights of mahoe in Puerto Rican plantations. Res. Note SO-355. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 091 Francis, J.K. 1989. *Pterocarpus macrocarpus* Kurz. Burma padauk, pradu. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-19. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 092 Francis, J.K. 1989. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. Primavera. Bignoniaceae. Bignonia family. SO-ITF-SM-25. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 093 Francis, J.K. 1989. *Terminalia catappa* L. Indian Almond, Almendra. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-23. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 094 Francis, J.K. 1989. *Thespesia grandiflora* (DC). Urban. Maga. Malvaceae. Mallow family. SO-ITF-SM-21. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 095 Francis, J.K. 1990. *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Almacigo, gumbo limbo. Burseraceae. Bursera family. SO-ITF-SM-35. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 096 Francis, J.K. 1990. *Byrsonima spicata* (Cav.) H.B.K. Maricao. Malpighiaceae. Malpighia family. SO-ITF-SM-36. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 097 Francis, J.K. 1990. *Catalpa longissima* (Jacq.) Dum. Cours. Yokewood. Bignoniaceae. Bignonia family. SO-ITF-SM-37. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 098 Francis, J.K. 1990. *Citharexylum fruticosum* L. Pendula, fiddlewood. Verbenaceae. Verbena family. SO-ITF-SM-34. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 099 Francis, J.K. 1990. *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh. Fresno, tropical ash. Oleaceae. Olive family. SO-ITF-SM-28. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 100 Francis, J.K. 1990. *Hura crepitans* L. Sandbox, molinillo, jabillo. Euphorbiaceae. Spurge family. SO-ITF-SM-38. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 101 Francis, J.K. 1990. *Hymenaea courbaril* (L.) Algarrobo, locust. Leguminosae. Legume family. Caesalpinioideae. Cassia subfamily. SO-ITF-SM-27. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.

- 102 Francis, J.K. 1990. *Spathodea campanulata* Beauv. African tulip tree. Bignoniaceae. Bignonia family. SO-ITF-SM-32. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 103 Francis, J.K. 1990. *Syzygium jambos* (L.) Alst. Rose apple. Myrtaceae. Myrtle family. SO-ITF-SM-26. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 104 Francis, J.K. 1991. *Cupania americana* L. Guara. Sapindaceae. Soapberry family. SO-ITF-SM-44. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 105 Francis, J.K. 1991. *Guazuma ulmifolia* Lam. Guácima. Sterculiaceae. Chocolate family. SO-ITF-SM-47. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 106 Francis, J.K. 1991. *Hyeronima clusioides* (Tul.) Muell-Arg. Cedro macho. Euphorbiaceae. Spurge family. SO-ITF-SM-45. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 3 p.
- 107 Francis, J.K. 1991. *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. Bombacaceae. Bombax family. SO-ITF-SM-41. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 108 Francis, J.K. 1991. *Zanthoxylum martinicense* (Lam.) DC. Espino rubial. Rutaceae. Rue family. SO-ITF-SM-42. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 109 Francis, J.K. 1992. *Melicoccus bijugatus* Jacq. Quenepa. Sapindaceae. Soapberry family. SO-ITF-SM-48. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 110 Francis, J.K. 1992. *Pinus caribaea* Morelet. Caribbean pine. Pinaceae. Pine family. SO-ITF-SM-53. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 10 p.
- 111 Francis, J.K. 1992. *Roystonea borinquena* O.F. Cook. Puerto Rican royal palm. Palmae. Palm family. SO-ITF-SM-55. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 112 Francis, J.K. 1992. *Spondias mombin* L. Hogplum. Anacardiaceae. Cashew family. SO-ITF-SM-51. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 113 Francis, J.K. 1993. *Acrocomia media* O.F. Cook. Corozo. Palmaceae. Palm family. SO-ITF-SM-68. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 114 Francis, J.K. 1993. *Alchornea latifolia* Sw. Achiotillo. Euphorbiaceae. Spurge family. SO-ITF-SM-60. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 115 Francis, J.K. 1993. *Bambusa vulgaris* Schrad ex Wendl. Common bamboo. Gramineae. Grass family. Bambusoideae. Bamboo subfamily. New Orleans, LA: SO-ITF-SM-65. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 116 Francis, J.K. 1993. *Clusia rosea* Jacq. Cupey. Clusiaceae. Clusia family. SO-ITF-SM-69. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 117 Francis, J.K. 1993. *Genipa americana* L. Jagua, genipa. Rubiaceae. Madder family. SO-ITF-SM-58. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 118 Francis, J.K. 1993. *Guaiacum officinale* L. Lignumvitae, Guayacán. Zygophyllaceae. Caltrop family. SO-ITF-SM-67. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 119 Francis, J.K. 1994. English-Portuguese equivalents of forestry and conservation terms. [Termos equivalentes em silvicultura e conservacao Português-Inglés]. Gen. Tech. Rep. SO-109. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 45 p.
- 120 Francis, J.K. 1994. *Ficus citrifolia* P. Miller Jagüey blanco. Moraceae. Mulberry family. SO-ITF-SM-75. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 121 Francis, J.K. 1994. *Inga fagifolia* (L.) Willd. Guamá. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-72. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 122 Francis, J.K. 1995. *Cordia sulcata* DC. White manjack, Moral. Boraginaceae. Borage family. SO-ITF-SM-77. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 123 Francis, J.K. 1995. Forest plantations in Puerto Rico. In: Lugo, A.E.; Lowe, C., eds. Tropical forests: management and ecology. Ecological Studies 112. Springer-Verlag, New York: 210-223.
- 124 Francis, J.K.; Bokkestijn, A. 1988. *Khaya nyasica* Stapf. ex Baker f. East African Mahogany. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-9. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.

- 125 Francis, J.K.; Alemañy, S. 1994. *Juglans jamaicensis* C. DC. Nogal. Juglandaceae. Walnut family. SO-ITF-SM-73. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 126 Francis, J.K.; Gillespie, A.J.R. 1993. Relating gust speed to tree damage in Hurricane Hugo, 1989. *Journal of Arboriculture*. 19(6): 369-373.
- 127 Francis, J.K.; Liogier, H.A. 1991. Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. Gen. Tech. Rep. SO-82. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 12 p.
- 128 Francis, J.K.; Rivera, C.; Figueroa, J. 1994. Toward a woody plant list for Antigua and Barbuda: past and present. SO-GTR-102. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 28 p.
- 129 Francis, J.K.; Rodríguez, A. 1993. Seeds of Puerto Rican trees and shrubs: second installment. Res. Note SO-374. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p.
- 130 Frangi, J.L.; Lugo, A.E. 1991. Hurricane damage to a flood plain forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 324-335.
- 131 Gillespie, A.J.R. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. Pinaceae. Pine family. SO-ITF-SM-54. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 132 Gillespie, A.J.R. 1994. Remote sensing for tropical forest assessment. [Evaluación de bosques tropicales utilizando la técnica telesensorial]. Proceedings of a workshop, 1991 April 8-12; San Juan, P.R. Río Piedras, P.R: París: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry and United Nations Food and Agriculture Organization. 84 p.
- 133 Homma, A.; Walker, R.T.; Scatena, F.; Conto, A.; Carvalho, R.; Ferreira, C.; Santos A. 1994. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental? In: Proceedings: The 3rd International Conference on Systems Integration, August 1994. Sao Paulo, Brazil: 1-22.
- 134 Jiménez, J.A. 1985. *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. White Mangrove. SO-ITF-SM-3. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station. 4 p.
- 135 Jiménez, J.A. 1985. *Rhizophora mangle* L. Red Mangrove. SO-ITF-SM-2. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station. 7 p.
- 136 Jiménez, J.A.; Lugo, A.E. 1985. *Avicennia germinans* (L.) L. Black Mangrove. SO-ITF-SM-4. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.

- 137 Jones, S.C.; Nalepa, C.A.; McMahan, E.A.; Torres, J.A. 1995. Survey and ecological studies of the termites (Isoptera: Kalotermitidae) of Mona Island. *Florida Entomologist*. 78(2): 305-313.
- 138 Keller, M. and P.A. Matson. 1994. Biosphere-atmosphere exchange of trace gases in the tropics: evaluating the effects of land use changes. In: Prinn, R.G., ed. *Global atmospheric-biospheric chemistry*. Plenum Press, New York: 103-117.
- 139 Keller, M., Reiners, W.A. 1994. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, and methane under secondary succession of pasture to forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Global Biogeochemical Cycles*. 8(4): 399-409.
- 140 Keller, M., Stallard, R.F. 1994. Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panamá. *Journal of Geophysical Research*. 99(D4): 8307-8319.
- 141 Keller, M.; Veldkamp, E.; Weitz, A.M.; Reiners, W.A. 1994. Effect of pasture age on soil trace-gas emissions from a deforested area of Costa Rica. *Nature*. 365: 244-246.
- 142 Knowles, O.H.; Parrotta, J.A. 1995. Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and field performance indices. *Commonwealth Forestry Review*. 74(3): 230-243.
- 143 Latta, S.C.; Wunderle, J.M., Jr. 1996. The composition and foraging ecology of mixed species flocks in pine forests of Hispaniola. *The Condor*. 98: 595-607.
- 144 Latta, S.C.; Wunderle, J.M., Jr.; Terranova, E.; Pagán, M. 1995. An experimental study of nest predation in a subtropical wet forest following hurricane disturbance. *Wilson Bulletin*. 107(4): 590-602.
- 145 Ledig, F.T.; Whitmore, J.L. 1981. The calculation of selection differential and selection intensity to predict gain in a tree improvement program for plantation grown Honduras pine in Puerto Rico. Res. Pap. SO-170. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 146 Liegel, L.H. 1984. Effects of adding magnesium nitrate before dry-ashing on phosphorus in Honduras pine foliage. Res. Note. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 68(2): 219-221.
- 147 Liegel, L.H. 1984. Results of 5- to 6-year old provenance trials of *Pinus oocarpa* Schiede on eight sites in Puerto Rico. *Silvae Genetica*. 33(6): 223-230.
- 148 Liegel, L.H. 1984. Status, growth, and development of unthinned Honduras pine plantations in Puerto Rico. *Turrialba*. 34(3): 313-324.
- 149 Liegel, L.H. 1990. *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch. Yagrumo macho. Araliaceae. Ginseng family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., comps., eds. *Silvics of North America*. Vol. 2: Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC: 288-293.

- 150 Liegel, L.H.; Stead, J.W. 1990. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Laurel, Capá Prieto. Boraginaceae. Borage family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H.; comps., eds. Silvics of North America. Vol. 2: Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC: 270-277.
- 151 Liegel, L.H.; Venator, C.R. 1987. A technical guide for forest nursery management in the Caribbean and Latin America. Gen. Tech. Rep. SO-67. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 156 p.
- 152 Liegel, L.H., comp. 1991. Growth and site relationships of *Pinus caribaea* across the Caribbean Basin. Gen. Tech. Rep. SO-83. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry in cooperation with the University of Puerto Rico. 70 p.
- 153 Little, E.L., Jr.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1974. Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. Vol. 2: Agriculture Handbook 449. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. 1024 p.
- 154 Little, E.L., Jr.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1976. Flora of Virgin Gorda (British Virgin Islands). Res. Pap. ITF-21. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 36 p.
- 155 Lodge, D.J.; Scatena, F.N.; Asbury, C.E.; Sánchez, M.J. 1991. Fine litterfall and related nutrient inputs resulting from Hurricane Hugo in subtropical wet and lower montane rain forests of Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 336-342.
- 156 Lodge, D.J.; McDowell, W.H.; McSwiney, C.P. 1994. The importance of nutrient pulses in tropical forests. *Tree*. 9(10): 384-387.
- 157 Lugo, A.E. 1988. Forest lands in Puerto Rico and the Caribbean 500 years after their discovery by Cristoforo Colombo. IITF Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 16 p. Slide presentation with ref. and app.
- 158 Lugo, A.E. 1991. Cities in the sustainable development of tropical landscapes. *Nature and Resources*. 27(2): 27-35.
- 159 Lugo, A.E. 1991. Tropical Forestry research: past, present and future. *Journal of Forestry*. 89(3): 10-11, 22.
- 160 Lugo, A.E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. *Ecological Monographs*. 62(1): 1-41.
- 161 Lugo, A.E. 1992. More on exotic species. *Conservation Biology*. 6(1): 6.
- 162 Lugo, A.E. 1992. Tree plantation for rehabilitating damaged forest lands in the tropics. In: Wali Mohan K., ed. *Ecosystem Rehabilitation*. Vol. 2: Ecosystem Analysis and Synthesis. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands: 247-255.

- 163 Lugo, A.E. 1994. Preservation of primary forests in the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Conservation Biology*. 8(4): 1122-1131.
- 164 Lugo, A.E. 1995. Fire and wetland management. In: Cerulean, S.I.; Engstrom, R.T., eds. *Fire in Wetlands: a Management Perspective*. Proceedings of the Tall Timbers Fire Ecology Conference, No. 19. 1993 November 3-6; Tallahassee, Florida: Tallahassee, Florida: Tall Timbers Research Station: 1-9.
- 165 Lugo, A.E. 1995. Management of tropical biodiversity. *Ecological Applications*. 5(4): 956-961.
- 166 Lugo, A.E. 1996. Ninety years of plant ecology research in Puerto Rico. In: Figueroa, J.C., ed. *The Scientific Survey of Puerto Rico and the Virgin Islands*. Volume 776 of the *Annals of the New York Academy of Sciences*. The Academy, New York: 73-88.
- 167 Lugo, A.E.; Figueroa, J. 1984. *Anthocephalus chinensis* (Lam.) A. Rich. ex Walp. Kadam. SO-ITF-SM-1. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.
- 168 Lugo, A.E.; Frangi, J.L. 1993. Fruit fall in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 25(1): 73-84.
- 169 Lugo, A.E.; Ramos, O.; Molina, S.; Scatena, F.N.; Vélez Rodríguez, L.L. 1996. A fifty-three year record of land use change in the Guánica Forest Biosphere Reserve and its vicinity. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry with Fundación Puertorriqueña de Conservación. 13 pages + photographs. [Accompanying maps by Vélez Rodríguez, L.L. cited separately.]
- 170 Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1992. Epiphytes and climate change research in the Caribbean: a proposal. *Selbyana*. 13: 123-130.
- 171 Lugo, A.E.; Ford, L.B., eds. 1987. *Forest recreation in the Caribbean Islands*. Proceedings of the 3rd Meeting of Caribbean Foresters, 1986 May 19-23; Guadeloupe, F.W.I. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry and the Caribbean National Forest. 95 p.
- 172 Maldonado, E.D. 1961. Peladora de postes de cadena ajustada: A tight chain post peeler. *Apuntes Forestales Tropicales ITF-8*. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 5 p.
- 173 Maldonado, E.D. 1962. Radiación solar para secar caoba en Puerto Rico. *Apuntes Forestales Tropicales ITF-14*. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 5 p.
- 174 Maldonado, E.D. 1962. Solar radiation used to dry mahogany lumber in Puerto Rico. *Tropical Forest Note ITF-14*. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Tropical Forest Research Center. 5 p.

- 175 Nobles, R.W.; Briscoe, C.B. 1966. Height growth of mahogany seedlings. Res. Note ITF-10. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 176 Parrotta, J.A. 1988. *Albizia lebbek* (L.) Benth. Siris. Leguminosae (Mimosaceae). Legume family. SO-ITF-SM-7. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 177 Parrotta, J.A. 1988. *Albizia procera* (Roxb.) Benth. White siris. Tall albizia. Leguminosae (Mimosaceae). Legume family. SO-ITF-SM-6. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 178 Parrotta, J.A. 1989. *Dalbergia sissoo* Roxb. Sissoo. Indian Rosewood. Leguminosae (Papilionoideae). Legume family. SO-ITF-SM-24. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 179 Parrotta, J.A. 1990. *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen. Batai, Moluccan sau. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-31. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 180 Parrotta, J.A. 1990. *Tamarindus indica*. L. Tamarindo. Leguminosae (Caesalpinioideae). Legume family. SO-ITF-SM-30. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 181 Parrotta, J.A. 1991. *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. Guamúchi, Madras thorn. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-40. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 182 Parrotta, J.A. 1992. *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Aroma, huisache. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-49. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 183 Parrotta, J.A. 1992. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. Gliricidia, Mother of cocoa. Leguminosae (Papilionoideae). Legume family. SO-ITF-SM-50. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 184 Parrotta, J.A. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Leucaena, tantan. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-52. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 185 Parrotta, J.A. 1993. Assisted recovery of degraded tropical lands: plantation forests and ecosystem stability. In Paoletti, M.G.; Foissner, W.; Coleman, D., eds. Soil Biota, Nutrient. 169-182.

- 186 Parrotta, J.A. 1993. *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. & G. Forst. Casuarina, Australian pine. Casuarinaceae. Casuarina family. SO-ITF-SM-56. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 11 p.
- 187 Parrotta, J.A. 1993. *Cocos nucifera* L. Coconut, Coconut palm, Palma de coco. Palmae. Palm family. SO-ITF-SM-57. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 188 Parrotta, J.A. 1993. *Mangifera indica* L. Mango. Anacardiaceae. Cashew family. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 189 Parrotta, J.A. 1993. *Moringa oleifera* Lam. Resedá, horseradish tree. Moringaceae. Horse-radish-tree family. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 190 Parrotta, J.A. 1994. Application of ^{15}N -enrichment methodologies to estimate nitrogen fixation in *Casuarina equisetifolia*. Canadian Journal of Forest Research. 24(2): 201-207.
- 191 Parrotta, J.A. 1994. *Artocarpus altilis* (S. Park.) Fosb. Breadfruit. Moraceae. Mulberry family. SO-ITF-SM-71. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 6 p.
- 192 Parrotta, J.A. 1994. *Coccoloba uvifera* (L.) L. Sea grape, Uva de playa. Polygonaceae. Buckwheat family. SO-ITF-SM-74. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 193 Parrotta, J.A. 1994. *Thespesia populnea* (L.) Soland ex Correa. Portiatree, emajaguilla. SO-ITF-SM-76. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 194 Parrotta, J.A. 1995. Influence of overstory composition on understory colonization by native species in plantations on a degraded tropical site. Journal of Vegetation Science. 6: 627-636.
- 195 Parrotta, J.A.; Baker, D.D; Fried, M. 1994. Estimation of nitrogen fixation in *Leucaena leucocephala* using ^{15}N -enrichment methodologies. In: Sprent, J.I.; McKey, D., eds. Advances in Legume Systematics 5: the Nitrogen Factor. Royal Botanic Gardens, Kew: 75-82.
- 196 Parrotta, J.A.; Chaturvedi, A.N. 1994. *Azadirachta indica* A. Juss. Neem, margosa. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-70. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 197 Parrotta, J.A.; Francis, J.K. 1990. *Senna siamea* Irwin & Barnaby. Yellow cassia, minjri. Leguminosae (Caesalpinioideae). Legume family. SO-ITF-SM-33. New Orleans, LA:

U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station,
Institute of Tropical Forestry. 7 p.

- 198 Parrotta, J.A.; Francis, J.K. 1993. *Pouteria multiflora* (A. DC.) Eyma. Jácana, Bully-tree. Sapotaceae. Sapodilla family. SO-ITF-SM-62. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 199 Parrotta, J.A.; Lodge, D.J. 1991. Fine root dynamics in a subtropical wet forest following hurricane disturbance in Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 343-347.
- 200 Parsons, W.F.J.; Keller, M. 1995. Controls on nitric oxide emission from tropical pasture and rain forest soils. *Biology and Fertility of Soils*. 20: 151-156.
- 201 Reyes, G.; Brown, S.; Chapman, J.; Lugo, A.E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 15 p.
- 202 Rodríguez, C. 1990. *Inga vera* (Willd.) Guaba. Leguminosae (Mimosoideae). Legume family. SO-ITF-SM-39. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 4 p.
- 203 Rodríguez, C.D. 1993. *Petitia domingensis* Jacq. Capá blanco. Verbenaceae. Verbena family. SO-ITF-SM-66. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 5 p.
- 204 Rotenberry, J.T.; Cooper, R.J.; Wunderle J.M., Jr.; Kimberly, S.G. 1993. Incorporating effects of natural disturbances in managed ecosystems. In: Finch., D.M.; Stangel, M.; Weaver, P., eds. Status and management of neotropical migratory birds. Gen. Tech. Rep. RM-229. Fort Collins, Colorado. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Experiment Station. 103-108.
- 205 Scatena, F.N. 1995. Relative scales of time and effectiveness of watershed processes in a tropical montane rain forest of Puerto Rico. Natural and anthropogenic influences in fluvial geomorphology. Geophysical Monograph 89, Washington, DC: American Geophysical Union. 103-111.
- 206 Scatena, F.N.; Larsen, M.C. 1991. Physical aspects of Hurricane Hugo in Puerto Rico. *Biotropica*. 23(4a): 317-323.
- 207 Scatena, F.N.; Walker, R.T.; Homma, A.K.O.; De Conto, A.J.; Ferreira, C.A.P.; De Amourin Carvalho, R.; Neves da Rocha, A.C.P.; Moreira dos Santos, A.I.; De Oliveira, P.M. 1996. Cropping and fallowing sequences of small farms in the "tierra firme" landscape of the Brazilian Amazon: a case study from Santarém, Pará. *Ecological Economics*. 18(1): 29-40.
- 208 Schubert, T.H.; Zambrana, J. 1978. Honduras or big-leaf mahogany. Urban Forestry Bulletin, Caribbean Area. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Area. 2 p.

- 209 Schubert, T.H.; Zambrana, J. 1978. West Indies or small-leaf mahogany. Urban Forestry Bulletin, Caribbean Area. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Area. 2 p.
- 210 Silander, S.R.; Lugo, A.E. 1990. *Cecropia peltata* L. Yagrumo hembra, Trumpet-Tree. Moraceae. Mulberry family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., comps., eds. Silvics of North America, Vol. 2: Hardwoods. Agriculture Handbook 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 244-249.
- 211 Torres, J.A. 1994. Insects of the Luquillo Mountains, Puerto Rico. SO-GTR-105. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 53 p.
- 212 Torres, J.A. 1994. Wood decomposition of *Cyrilla racemiflora* in a tropical montane forest. Biotropica. 26(2): 124-140.
- 213 Torres, J.A. 1992. Lepidoptera outbreaks in response to successional changes after the passage of Hurricane Hugo in Puerto Rico. Journal of Tropical Ecology. 8: 285-298.
- 214 Tosi, J.A., Jr.; Vélez-Rodríguez, L.L. 1983. Provisional ecological map of the Republic of Brazil. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station. Washington, DC: In cooperation with: Center for Energy and Environment Research, University of Puerto Rico, and United States Department of Energy. 16 p.
- 215 Venator, C.R. 1972. Effect of gibberelic acid on germination of low-vigor Honduras pine seeds. Forest Science. 18(4): 331.
- 216 Venator, C.R. 1976. A mutant *Pinus caribaea* var. *hondurensis* seedling incapable of developing normal secondary needles. Turrialba. 26(1): 98-99.
- 217 Venator, C.R.; Muñoz, J.E.; Barros, N.F. 1977. Root immersion in water: a promising method for successful bare-root planting of Honduras pine. Turrialba. 27(3): 287-291.
- 218 Venator, C.R.; Zambrana, J.A. 1975. Extraction and germination of kadam seed. Res. Note ITF-14A. Río Piedras, Puerto Rico: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 3 p.
- 219 Walker, L.R. 1994. Effects of fern thickets on woodland development on landslides in Puerto Rico. Journal of Vegetation Science. 5: 525-532.
- 220 Walker, L.R.; Neris, L.E. 1993. Posthurricane seed rain dynamics in Puerto Rico. Biotropica. 25(4): 408-418.
- 221 Weaver, P.L. 1983. Tree growth and stand changes in the subtropical life zones of the Luquillo Mountains of Puerto Rico. Res. Pap. SO-190. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 24 p.

- 222 Weaver, P.L. 1988. *Guarea guidonia* (L.) Sleumer. American muskwood. Meliaceae. Mahogany family. SO-ITF-SM-17. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 223 Weaver, P.L. 1989. *Andira inermis* (W. Wright) DC. Cabbage angelin. Leguminosae. Legume family. SO-ITF-SM-20. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 224 Weaver, P.L. 1990. *Calophyllum calaba* L. María, Santa María. Guttiferae. Mangosteen family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., eds. Silvics of North America, Vol. 2: Hardwoods. Agriculture Handbook No. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 172-178.
- 225 Weaver, P.L. 1990. *Manilkara bidentata* (A. DC.) Chev. Ausubo, Balata. Sapotaceae. Sapodilla family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., eds. Silvics of North America, Vol. 2: Hardwoods. Agriculture Handbook No. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 455-460.
- 226 Weaver, P.L. 1990. *Tabebuia heterophylla* (DC.) Britton. Roble blanco, White-cedar. Bignoniaceae. Bignonia family. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H., eds. Silvics of North America, Vol. 2: Hardwoods. Agriculture Handbook No. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 778-783.
- 227 Weaver, P.L. 1991. *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichl. Granadillo. Combretaceae. Combretum family. SO-ITF-SM-43. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 228 Weaver, P.L. 1992. An ecological comparison of canopy trees in the montane rain forest of Puerto Rico's Luquillo Mountains. Caribbean Journal of Science. 28(1-2): 62-69.
- 229 Weaver, P.L. 1993. *Micropholis chrysophylloides* Pierre. Caimitillo. Sapotaceae. Sapodilla family. SO-ITF-SM-59. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 230 Weaver, P.L. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. Verbenaceae. Verbena family. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, International Institute of Tropical Forestry. 18 p.
- 231 Weaver, P.L. 1994. Baño de Oro Natural Area Luquillo Mountains, Puerto Rico. General Technical Report SO-111. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 55 p.
- 232 Weaver, P.L. 1994. Effects of Hurricane Hugo on trees in the Cinnamon Bay watershed, St. John, United States Virgin Islands. Caribbean Journal of Science. 30(3-4): 255-261.
- 233 Weaver, P.L. 1996. Forest productivity in the Cinnamon Bay watershed, St. John, United States Virgin Islands. Caribbean Journal of Science. 32(1): 89-98.

- 234 Weaver, P.L.; Birdsey, R.A.; Nicholls, C.F. 1988. Los recursos forestales de San Vicente, Indias Occidentales. Forest Service Res. Pap. SO-244. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 27 p.
- 235 Weaver, P.L.; Francis, J.K. 1988. *Hibiscus elatus* Sw. Mahoe Malvaceae. Mallow family. SO-ITF-SM-14. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 7 p.
- 236 Whitmore, J.L. 1972. *Pinus merkusii* unsuitable for plantations in Puerto Rico. Turrialba. 22(3): 351-353.
- 237 Whitmore, J.L. 1978. Bibliography on *Eucalyptus deglupta* Bl. Res. Note ITF-17. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 18 p.
- 238 Whitmore, J.L. 1978. *Cedrela* provenance trial in Puerto Rico and St. Croix: establishment phase. Res. Note ITF-16. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 11 p.
- 239 Whitmore, J.L.; Hinojosa, G. 1977. Mahogany (*Swietenia*) hybrids. Res. Pap. ITF-23. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 8 p.
- 240 Whitmore, J.L.; Liegel, L.H. 1980. Spacing trial of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Res. Pap. SO-162. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 9 p.
- 241 Wiley, J.W.; Wunderle J.M., Jr. 1993. The effects of hurricanes on birds, with special reference to Caribbean islands. Bird Conservation International. 3: 319-349.
- 242 Wilson, M.H.; Kepler, C.B.; Snyder, N.F.R.; Derrickson, S.R.; Dein, F.J.; Wiley, J.W.; Wunderle, J.M., Jr.; Lugo, A.E.; Graham, D.L.; Toone, W.D. 1994. Puerto Rican Parrots and potential limitations of the metapopulation approach to species conservation. Conservation Biology. 8(1): 114-123.
- 243 Wisniewski, J.; Sampson, R.N. 1993. Terrestrial biospheric carbon fluxes: quantification of sinks and sources of CO². Water, air, and soil pollution. 70: 9-10.
- 244 Wisniewski, J.; Dixon, R.K.; Kinsman, J.D.; Sampson, R.N.; Lugo, A.E. 1993. Carbon dioxide sequestration in terrestrial ecosystems. Climate Research. 3: 1-5.
- 245 Woodbury, R.O.; Little, E.L., Jr. 1976. Flora of Buck Island Reef National Monument (U.S. Virgin Islands). Res. Pap. ITF-19. Río Piedras, P.R: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry. 27 p.
- 246 Wunderle, J.M., Jr. 1995. Métodos para contar aves terrestres del Caribe. Gen. Tech. Rep. SO-100. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 28 p.
- 247 Wunderle, J.M., Jr. 1994. Census methods for Caribbean land birds. SO-GTR-98. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 26 p.

- 248 Wunderle, J.M., Jr. 1995. Responses of bird populations in a Puerto Rican forest to Hurricane Hugo: the first 18 months. *The Condor*. 97: 879-896.
- 249 Wunderle, J.M., Jr. 1995. Population characteristics of Black-throated Blue Warblers wintering in three sites on Puerto Rico. *The Auk*. 112(4): 931-946.
- 250 Wunderle, J.M., Jr.; Cortés, R.A. Carromero, W. 1992. Song characteristics and variation in a population of bananaquits on Puerto Rico. *The Condor*. 94: 680-691.
- 251 Wunderle, J.M., Jr.; Lodge, D.J.; Waide, R.B. 1992. Short-term effects of Hurricane Gilbert on terrestrial bird populations on Jamaica. *The Auk*. 109(1): 148-166.
- 252 Wunderle, J.M., Jr.; Waide, R.B. 1993. Distribution of overwintering Nearctic migrants in the Bahamas and Greater Antilles. *The Condor*. 95: 904-933.
- 253 Yocum, C.; Lugo, A.E. 1995. The Economics of Caribbean Forestry. Proceedings of the 7th Meeting of Caribbean Foresters at Jamaica, 1994 June 13-17, Technical Proceedings R8-TP 23. Atlanta, GA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region. Río Piedras, P.R: International Institute of Tropical Forestry, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, in cooperation with the University of Puerto Rico.
- 254 Zepeda, G.; Lugo, A.E., eds. 1994. Towards sustainable forest resource management in the Caribbean: Proceedings of the 6th Meeting of Caribbean Foresters at Martinique, 1994 July 20-24; Martinique. San Juan, P.R: International Institute of Tropical Forestry. 55 p.
- 255 Zimmerman, J.K.; Pulliam, W.M.; Lodge, D.J.; Quiñones-Orfila, V.; Fetcher, N.; Guzmán-Grajales, S.; Parrotta, J.A.; Asbury, C.E.; Walker, L.R.; Waide, R.B. 1995. Nitrogen immobilization by decomposing woody debris and the recovery of tropical wet forest from hurricane disturbance. *Oikos*. 72: 314-322.
- 256 Zimmerman, J.K.; Everham, III, E.M.; Waide, R.B.; Lodge, D.J.; Taylor, C.M.; Brokaw, N.V.L. 1994. Responses of tree species to hurricane winds in subtropical wet forest in Puerto Rico: implications for tropical tree life histories. *Journal of Ecology*. 82: 911-922.

Versión en Español

INTRODUCCIÓN

El Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IITF, por sus siglas en inglés, de aquí en adelante IIDT) es parte del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Localizado en Río Piedras, Puerto Rico, el Instituto fue fundado en el 1939 como un centro de investigación para la silvicultura tropical dedicado tanto a niveles domésticos como a internacionales. Dentro de la misión del Servicio Forestal de cuidar a la tierra y servir a la gente, la misión del IIDT es desarrollar e intercambiar el conocimiento crítico para el sostenimiento de los beneficios del ecosistema tropical para la humanidad.

INVESTIGACIÓN

La médula del Instituto es su programa de investigación cuyo enfoque es en el bosque tropical americano. El programa está intensificado por un laboratorio con instalaciones para el análisis químico de suelos y agua; un Centro de Información Técnica con libros, revistas científicas, y otros tipos de literatura sobre silvicultura tropical y distribuye publicaciones del IIDT, el Bosque Experimental de Luquillo (BEL) y una red de parcelas de crecimiento arbóreo de las más antiguas en el hemisferio, y un laboratorio de Sistema de Información Global/Sistema de Posición Global (GIS/GPS, por sus siglas en inglés). El programa de investigación, desarrolla y disemina conocimiento derivado científicamente que contribuye al desarrollo sostenido de los recursos forestales, la rehabilitación de terrenos degradados, y el manejo y conservación de los bosques tropicales, la vida silvestre y las cuencas hidrográficas. Las áreas de mayor énfasis, en los proyectos en curso son:

- I. Monitoreo Forestal, Manejo y Rehabilitación
Proyectos:
Dinámica del Bosque Tropical - Monitoreo a Largo Plazo
Silvicultura de Árboles Forestales Tropicales
Manejo de Conservación - Colaboración del ONG's

Caoba - Silvicultura, Conservación y Manejo
Rehabilitación y Restauración del Bosque Tropical

- II. Investigación de Ecosistemas
Proyectos:
Intercambio de Gases de Invernadero y Cambio Global
Investigación Ecológica a Largo Plazo
Manejo Ribereño y de Cuencas Hidrográficas
- III. Investigación de Vida Silvestre
Proyectos:
Biología Poblacional a Largo Plazo del Zorzal Pardo
Estudios Poblacionales de Aves a Largo Plazo en el Bosque Seco de Guánica
Efectos de Huracanes sobre la Vida Silvestre
Distribución de Hábitat y sobrevivencia al invierno de Aves Migratorias Neo-tropicales

Para más información sobre detalles de nuestro programa de investigación puede acceder nuestra página en el "World Wide Web" al: www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html. Las instrucciones para solicitar publicaciones recientes del IIDT, así como una forma de solicitud acompañada por la lista de publicaciones, están contenidas dentro de este volumen de la Carta Anual.

PROGRAMAS DOMÉSTICOS

El Programa de Silvicultura Estatal y Privada es el programa de énfasis de silvicultura tropical a nivel doméstico para Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los E.U. y dentro de este marco de referencia les provee asistencia técnica. Los socios primarios son el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) en Puerto Rico y el Departamento de Agricultura de las Islas Vírgenes estadounidenses. La silvicultura estatal y privada maneja alrededor de 3.3 subvenciones activas que envuelven U.S. \$1.2

millones en fondos de colaboradores y U.S. \$1.4 millones en fondos del Servicio Forestal. Estos acuerdos enfatizan la asistencia técnica, la transferencia de tecnología y la capacitación. Los programas implementados en Puerto Rico y las Islas Vírgenes (E.U.) pueden dividirse en cinco categorías:

- I. Silvicultura Urbana y Comunitaria
- II. Asistencia al Terrateniente Rural
- III. Acción Económica
- IV. Salud Forestal
- V. Fuego Cooperativo

Para más información sobre detalles específicos del programa puede acceder nuestra página al: www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html.

PROGRAMAS INTERNACIONALES

La Unidad de Cooperación Internacional del IIDT sirve de base a gerentes e investigadores de América Latina y Estados Unidos para trabajar cooperativamente. La Unidad utiliza la información derivada de la investigación del IIDT así como la destreza de manejo de terrenos del Sistema Forestal Nacional, especialmente del Bosque Nacional del Caribe, para proveer información técnica y herramientas para la transferencia de tecnología y la extensión.

El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos brindan apoyo financiero al programa. El Especialista en Cooperación Internacional provee información en áreas tales como manejo de ecosistemas, silvicultura, utilización forestal, manejo de parques y áreas protegidas, y otros campos dentro del manejo de los recursos renovables. Estos programas contribuyen directamente a la misión de Cooperación Internacional del IIDT que es intercambiar el conocimiento crítico para la sostenibilidad de los ecosistemas tropicales y su contribución a la humanidad a través de la demostración, la capacitación, la ciencia, el intercambio y la transferencia de tecnología.

Los clientes del IIDT incluyen agencias intercontinentales tales como la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés), organizaciones gubernamentales y no-gubernamentales y entidades privadas. La información nueva y las experiencias son generadas a través de los proyectos de investigación, la asistencia técnica, las visitas al IIDT, y la cooperación con otras agencias.

Los gerentes de programa participan en la selección de proyectos y están envueltos en su planeamiento, ejecución, monitoreo y evaluación.

BOSQUE EXPERIMENTAL DE LUQUILLO

El BEL está localizado en la Sierra de Luquillo, a 25 millas al Sureste de San Juan, Puerto Rico. Es el único bosque administrado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).

El bosque contiene 27,890 acres con elevaciones de 100 a 3,533 pies sobre el nivel del mar. El clima es tropical. La precipitación anual promedio es de 120 pulgadas por año. La topografía es escarpada, con el 24 por ciento del bosque exhibiendo pendientes de 60 por ciento o más.

El BEL ha servido durante mucho tiempo como lugar de investigación conducido por científicos del Servicio Forestal, la Universidad de Puerto Rico y de alrededor del mundo. Está singularmente dotado para la investigación de bosques tropicales y su manejo. Debido al alcance de la elevación y precipitación ocurren cinco zonas de vida dentro de este pequeño bosque. Estas zonas de vida son representativas de más de una tercera parte de los terrenos forestados en los trópicos americanos; ocurren especies arbóreas en el bosque que crecen en otros lugares en la América tropical. El acceso y las instalaciones son tan favorables a la investigación sobre silvicultura tropical en el BEL como en cualquier otra parte del hemisferio.

BOSQUE NACIONAL DEL CARIBE

El Bosque Nacional del Caribe (BNC), conocido como El Yunque es el único bosque tropical dentro del Sistema Nacional del Servicio Forestal (USDA). Fue separado por la Corona Española en el 1876 para dar término a la explotación generada por una población en expansión que echaba a perder sus tierras. En el 1903 fue colocado bajo la tutela del Servicio Forestal (USDA, E.U.). Del 1931 al 1978, un proceso de reforestación intensa llevó a la restauración de más de 10,000 acres de terrenos forestales. En el 1976 el Yunque fue nombrado Reserva de la Biosfera del programa El Hombre y la Biosfera de las Naciones Unidas. Al presente el bosque es manejado mayormente para la recreación, hábitat de vida silvestre, la investigación y las cuencas hidrográficas.

Luego de 70 años de manejo e investigación tropical continuo dirigidos a mantener un bosque saludable y productivo, El Yunque se ha convertido en uno de los bosques de mejor manejo en el mundo. Su éxito en la conservación y buen manejo contribuye a la campaña mundial de conservación del bosque tropical. El nuevo centro de visitantes, "Centro Forestal Tropical El Portal", representa el compromiso del Servicio Forestal ante este reto.

ADMINISTRACIÓN

La Unidad Administrativa provee apoyo administrativo tanto al IIDT como al BNC. Esta unidad se responsabiliza del cumplimiento de las leyes y reglamentos del gobierno federal y los acuerdos con los colaboradores. Esta unidad también es responsable de desarrollar y manejar el presupuesto, ofreciendo contabilidad fiscal y servicios de apoyo; controlando la propiedad y el equipo, manejando los planes organizacionales de seguridad y salud, manejando la flota de vehículos de motor; y todas las funciones relacionadas a los recursos humanos y programas de recursos humanos. Las áreas de funcionamiento de la unidad son:

- I. Personal
- II. Compra
- III. Ingeniería
- IV. Finanzas
- V. Sistemas de Informática

RECURSOS HUMANOS DEL IIDT PARA 1996-97

Los siguientes son empleados del IIDT para el período de 1ro. de octubre de 1996 a 30 de septiembre de 1997:

Oficina del Director

Dr. Ariel E. Lugo	Director
Mildred Alayón	Secretaria
Lia Sánchez	Oficinista

Investigación

William G. Edwards	Director Auxiliar Interino de Investigación
Janet Rivera	Secretaria
Salvador Alemañy	Dasónomo
Dr. Wayne Arendt	Biólogo de Vida Silvestre
	Zorzal Pardo, Aves de Guánica
Brynne Bryan	Técnica de Ciencias Biológicas
Angel Colón	Auxiliar Forestal
Roberto Díaz	Técnico de Ciencias Biológicas
Carlos Estrada	Técnico Forestal
Julio Figueroa	Ecólogo de Investigación - Caoba, Conservación y Manejo
Morris Ford	Técnica de Biología
Dr. John Francis	Dasónomo de Investigación - Silvicultura de Árboles del Bosque Tropical
Andrés García	Técnico de Hidrología
Zobeyda García	Oficinista

Julie Hernández	Oficinista	Dr. Joseph Wunderle	Biólogo de Vida
Luis Iglesias	Oficinista		Silvestre - Huraca-
Dr. Michael Keller	Científico Físico		nes, Aves Migra-
Edwin López	Químico		torias Neo Tropicales
Carmen M. Marrero	Química		
Javier Mercado	Auxiliar de Ciencias	Silvicultura Estatal y Privada	
	Biológicas		
Jorge Morales	Especialista en	Robin Morgan	Coordinadora de
	Información Técnica		Silvicultura Estatal y
Samuel Moya	Técnico de Biología		Privada
Evelyn Pagán	Técnica de Biblioteca		
Dr. John Parrotta	Científico de	Cooperación Internacional	
	Investigación -		
	Rehabilitación del	William G. Edwards	Director Auxiliar
	Bosque Tropical		para la Cooperación
Juan Ramírez	Técnico de Ciencias		Internacional
	Biológicas	Agnes Alejandro	Secretaria
Olga Ramos	Técnica de Ciencias	Gerald Bauer	Oficial Recursos
	Biológicas - Labo-		Naturales - USAID
	ratorio GIS/GPS		(Nicaragua)
Nelson Repollet	Técnico de Biología	Carlos M. Domínguez	Historiador
Gisel Reyes	Especialista en	Dr. Frank Wadsworth	Dasónomo de
	Información Técnica		Investigación
María Rivera	Técnica de Ciencias	Carleen Yocum	Especialista en Silvi-
	Biológicas		cultura Cooperativa
Alberto Rodríguez	Técnico de Ciencias	Administración	
	Biológicas		
Carlos Rodríguez	Ecólogo - Labora-	María Correa	Líder del Equipo de
	torio GIS/GPS		Operaciones
Mildred Román	Asistente Editorial	Brunilda Carrión	Asistente de Correo
Ivelisse Ruiz	Técnica de Ciencias		y Archivo
	Biológicas	María Cruz	Recepcionista
Myriam Salgado	Técnica de Ciencias	Blanca Díaz	Gerente de Sistema
	Biológicas		de Informática
Mary Jean Sánchez	Química	Delia Gómez	Técnica de
Maribelis Santiago	Técnica de Ciencias		Contabilidad
	Biológicas	José González	Especialista en
Dr. Fred Scatena	Hidrólogo - Manejo		Telecomunicaciones
	Ribereño y de	Ismael Guzmán	Especialista en
	Cuencas		Servicios de Apoyo
Esteban Terranova	Técnico de Ciencias	Elizabeth Hernández	Especialista en
	Biológicas (FPL)		Personal
Carlos Torrens	Auxiliar de Biología	Aixa Mojica	Oficinista de
Iván Vicéns	Técnico de Ciencias		Personal
	Biológicas	Ramón Hernández	Mantenimiento
Dra. Sheila Ward	Ecóloga de	Camille Loubriel	Técnica de
	Investigación		Contabilidad
Dr. Peter Weaver	Dasónomo de	Wanda Marrero	Oficial de Personal
	Investigación -	Ivette Martínez	Contable
	Dinámica del	Yolanda Padilla	Oficinista
	Bosque Tropical		

Edwin Pagán-Flecha	Especialista en Contratos
José Puente	Oficial de Presupuesto y Contabilidad
Guadalupe Torres	Técnica de Propiedad y Suministros
Luis Vias	Técnico de Ingeniería
Juan Vissepó	Ingeniero Civil

PROGRAMA DE EMPLEOS DEL SERVICIO A LA COMUNIDAD ENVEJECIENTE

El IIDT auspició el Programa de Empleos del Servicio a la Comunidad Envejeciente (SCSEP, por sus siglas en inglés), con gran éxito durante un año más. Fueron usados todos los fondos dispuestos por el Departamento del Trabajo (E.U.), y 24 participantes de 55 años o más se han beneficiado de esta experiencia. Igualmente el IIDT se ha beneficiado de la pericia de estas personas en variedad de tareas. Los participantes proveen asistencia en servicios interpretativos, jardinería, mantenimiento y diversas tareas de oficina. Son un grupo entusiasta y los empleados del Servicio Forestal les tienen en gran estima.

PROGRAMA DE VOLUNTARIOS

El IIDT tiene un programa vigoroso de voluntarios. Durante el transcurso del año, el IIDT ha auspiciado voluntarios bajo el Programa de Investigación como técnicos de campo en investigación conducente a obtener un grado académico en un campo mayor de la ciencia, en entrada de datos, y en otras labores significativas. Cabe mencionar el auspicio de tres estudiantes de "Worcester Polytechnic Institute" (Worcester, Massachusetts, E.U.) que crearon la página del IIDT en el "World Wide Web". También los voluntarios han sido asignados con éxito para asistir en otras misiones, y a su vez han obtenido destrezas valiosas.

FUTUROS EVENTOS

Lo siguiente es un listado de actividades que ocurrirán en el futuro cercano en el IIDT.

La intención es de dar a conocer la información, la programación de las fechas de los proyectos puede variar.

- Publicación de "Forest Production for Latin America" por el Dr. Frank H. Wadsworth. Esta obra es el resultado de más de 10 años de revisión de documentos combinados con los más de 50 años de experiencia del autor trabajando en la silvicultura tropical.
- Publicación de "Panorama de la Historia Forestal de Puerto Rico" por Carlos M. Domínguez. Esta publicación enfatiza la historia forestal en Puerto Rico en el siglo pasado con un resumen del siglo veinte, incluyendo numerosas tablas y fotografías.
- Publicación de "Big-Leaf Mahogany: Genetic Resources, Ecology, and Management", editado por Julio Figueroa-Colón. Esta publicación basada en un simposio auspiciado por el Instituto, incluirá más de 25 trabajos de científicos de alrededor del mundo.
- Celebración de la Novena Reunión de Forestales del Caribe en Julio de 1998. Los Forestales del Caribe (Caribbean Foresters) se reúnen cada 2 años para discutir temas de significado regional. Las memorias de las reuniones son publicadas y distribuidas a lo largo de la región y otras áreas.
- Celebración del 60 Aniversario del Instituto. Un programa completo de sesiones de investigación, viajes de campo, y otras actividades conmemorando este aniversario se llevarán a cabo en mayo de 1999.

Favor de dirigir sus solicitudes para información adicional o sus comentarios a:

Correo: IITF USDA Forest Service
Attn: (el nombre de la persona)
PO Box 25,000
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

Teléfono: (787) 766-5335

Fax: (787) 766-6302

o acceda al:

www.fs.fed.us/global/iitf/welcome.html

INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA

Ariel E. Lugo
Ecólogo

RESPUESTA DE BOSQUES Y PLANTACIONES AL HURACÁN HUGO

Estudié las tasas de mortalidad arbórea de los bosques tropicales con F.N. Scatena (Lugo y Scatena 1996). El proceso de la mortalidad arbórea tiene dimensiones de intensidad, patrones espaciales, y escalas temporales (tabla 1) que reflejan las características de procesos endogénicos, i.e. senescencia, y disturbios exogénicos, i.e., severidad, frecuencia, duración, escala espacial, y puntos de intersección con el ecosistema. Los eventos de mortalidad arbórea expresados como porcentaje de tallas o biomasa por unidad área fluctúa en intensidad desde daños de segundo plano (<5 porcentaje año⁻¹) a daños catastróficos (>5 porcentaje año⁻¹) (fig. 1) en escala espacial desde local hasta masivo, y en la escala temporal desde gradual hasta repentino (horas o semanas). Las tasas anuales absolutas de mortalidad arbórea de segundo plano (biomasa o tallo ha⁻¹ año⁻¹) pueden variar dependiendo de las condiciones del rodal, pero tienden a incrementar con la densidad de tallos. Los efectos ecológicos de un evento de mortalidad arbórea catastrófico, masivo y repentino contrastan con aquellos eventos de mortalidad arbórea de segundo plano, local, y gradual en términos de la dirección de la sucesión luego del evento, dinámicas comunitarias, ciclaje de nutrientes y posiblemente la selección sobre árboles. Cuando se estandariza para la frecuencia de retorno de eventos de disturbio, área y topografía, la jerarquía de eventos de mortalidad arbórea (árboles ha⁻¹ siglo⁻¹) en el Bosque Experimental de Luquillo es: daños de segundo plano $>$ huracanes $>$ sucesos individuales de aberturas por caída de árboles $>$ derrumbes. Los estimados de las tasas de cambio requieren análisis a largo plazo y espacial para producir resultados precisos.

Con Fu y Rodríguez Pedraza (1996) comparamos la estructura forestal a lo largo de un período de 12 años (1982-1994) que incluyó

medidas antes y después de un huracán severo de dos bosques: una plantación de árboles de 64 años de *Swietenia macrophylla* y un bosque natural pareado de edad similar en una zona de vida de bosque subtropical húmedo a 200-m de elevación en Puerto Rico. Medimos árboles ≥ 4 cm de diámetro a la altura del pecho (d.a.p.), en una parcela de 40-m x 50-m en cada tipo de bosque. El bosque natural tenía una altura total de árboles menor (8.8 vs 10.2 m en 1984) y área basal mayor (35.7 vs 28.5 m² ha en 1989) y mayor densidad arbórea (1,525 vs 969 árboles (ha en 1989) que la plantación. Las tasas de mortalidad de árboles y reclutamiento de árboles a la clase de diámetro ≥ 4 cm fueron más altas en la plantación que en el bosque natural. Ambos tipos de bosques exhibieron las mismas tasas de cambio en estos parámetros estructurales antes y después del huracán Hugo. Sin embargo, el huracán Hugo causó una mayor reducción en la tasa de cambio de la densidad arbórea y área basal en la plantación que en el bosque natural (fig. 2). Después del huracán, la plantación experimentó una mayor fluctuación en la composición de especies de árboles y en la abundancia de especies de árboles que el bosque natural (fig. 3). El reclutamiento de árboles fue menor que la mortalidad arbórea en ambos rodales. Pero, para el 1944 todas las tasas de cambio medidas estaban a niveles pre-huracán. La composición de especies y los cambios estructurales requeridos para hacer la plantación más productiva en términos de biomasa de madera en tallas aparentan hacer a la plantación más vulnerable, a los efectos de vientos huracanados, y esto a su vez, causar mayores tasas de cambio en la composición de especies, mortalidad y reclutamiento arbóreo durante la fase inicial después del disturbio.

MANGLARES CRECIMIENTO ANTIGUO

Los criterios usados para identificar bosques de crecimiento antiguo en la región Noreste del

Pacífico (E.U.) han demostrado no poder ser aplicable a otras zonas ecológicas. (Lugo 1997). Por ejemplo, los criterios del Noroeste del Pacífico no son propicios para la identificación de bosques de mangle de crecimiento antiguo (tabla 2) y Lugo 1997. Para identificar mangles de crecimiento antiguo, hay que tener en cuenta las diferencias en estructura y funcionamiento del rodal debido a la geomorfología, gradientes ambientales locales, y regímenes de disturbio regionales. Es necesario un enfoque flexible e integrado. La edad del rodal, definida en términos de los bosques del Noroeste del Pacífico, no es necesariamente el mejor criterio para la identificación, para la conservación de bosques de mangle o algún bosque fuera de esta región. Ningún rodal tendrá todas las características de crecimiento antiguo, y, aún cuando estén presentes en el rodal estas características no aseguran necesariamente que el rodal sea de crecimiento antiguo. El que un rodal de manglar alcance la etapa de crecimiento antiguo depende de la dinámica de las condiciones costeras bajo las cuales crece. Más aún, es necesario diferenciar entre la edad de los árboles en un rodal y la edad del sistema del manglar, que incluye el sustrato. Los rodales de mangle de crecimiento antiguo son estados improbables de este tipo de ecosistema, y pueden revertir a etapas más juveniles. Los manglares ofrecen un reto al concepto de bosques de crecimiento antiguo, y, a través de nuestro análisis de este sistema, demostramos que cuando se evalúan las funciones y estados del ecosistema, es necesario evitar prejuicios geográficos basados en condiciones ecológicas particulares.

LA CONSERVACIÓN Y USO DE TERRENOS

Publicamos un llamado para la conservación de los recursos naturales públicos para asegurar la calidad de vida en Puerto Rico (Morales Cardona y otros 1998). Se sugirió una estrategia de conservación para la Isla al aproximarse el siglo 21 (Lugo 1994a, tabla 3). Puerto Rico tiene un área pequeña con una población humana grande, como resultado de

esto, sus áreas naturales son pequeñas (fig. 4). Más aún, estas áreas naturales están sujetas a la fragmentación y a la presión dentro y fuera de los confines de las reservas (fig. 5). Este nivel de fragmentación levanta numerosos asuntos sobre la conservación en la Isla (Lugo 1994b) y justifica los estudios del uso de terrenos y el cambio en uso de terrenos en relación a la estructura y función del bosque. Comenzamos un programa de esta naturaleza, y, como parte de este esfuerzo, desarrollamos un mapa de uso de terrenos para Puerto Rico (fig. 6). Este mapa presenta usos de terrenos en el 1978 cuando la Isla estuvo en transición de uso de terreno agrícola a uso de terreno urbano (Ramos y Lugo 1994).

OTRAS INVESTIGACIONES

Con (Sánchez y otros 1997) publicamos el primer resumen de análisis químicos y físicos de plantas y suelos seleccionados de Puerto Rico. Esta publicación cubre resultados procedentes de nuestro laboratorio analítico entre los años 1981 y 1990. Esperamos actualizar esta publicación cada 10 años para acumular una base de datos sobre las propiedades químicas de tejidos y suelos tropicales. (Ver figuras y tablas, versión inglés).

LITERATURA CITADA

- Fu, S.; Rodríguez Pedraza, C.; Lugo, A.E. 1996. A twelve-year comparison of stand changes in a mahogany plantation and a paired natural forest of similar age. *Biotropica*. 28(4a): 515-524.
- Lugo, A.E. 1994a. A conservation strategy for Puerto Rico as it approaches the 21st century. *Acta Científica*. 8(3): 129-133.
- Lugo, A.E. 1994b. Terrenos públicos, fragmentación y la biodiversidad de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 31-35.
- Lugo, A.E. 1997. Old-growth mangrove forests in the United States. *Conservation Biology*. 11(1): 11-20.

- Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica*. 28(4a): 585-599.
- Morales Cardona, T.; Ruiz, B.; Lugo, A.E.; Morris, G. 1994. Un llamado a la acción para salvaguardar el patrimonio natural y la calidad de vida en Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 67-70.
- Ramos, O.M.; Lugo, A.E. 1994. Mapa de la vegetación de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 63-66.
- Sánchez, M.J.; López, E.; Lugo, A.E. 1997. Chemical and physical analyses of selected plants and soils from Puerto Rico (1981-1990). U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry Research Note IITF-RN-1. 112 p.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Carlos M. Domínguez
Historiador Forestal

Este informe, el cual cubre el período entre el primero de octubre de 1996 al 30 de septiembre de 1997, representa una jornada de especial interés y significado. Entre los factores que han promovido esta situación se ubican el desarrollo de varias actividades especiales, la publicación del mayor número de artículos por año en comparación a años anteriores, el auge del proyecto de la selección de los símbolos municipales (árbol, flor y ave), las actividades relacionadas a las comunidades y el desarrollo de un inventario de los árboles históricos o legendarios de Puerto Rico.

La celebración del primer centenario del Día del Árbol en Puerto Rico (mayo 1997) estimuló en gran medida a que durante este año se efectuasen un mayor número de actividades inherentes a los árboles. Dentro de esa perspectiva las actividades más sobresalientes se escenificaron en San Juan (en cooperación con la Comisión de Instrucción y Cultura de la Cámara de Representantes de Puerto Rico) y en el municipio de Ceiba (en cooperación con el Servicio de Extensión Agrícola). El proyecto sobre la selección de los símbolos municipales (árbol, flor y ave) finalizó en Orocovis, Canóvanas, Dorado y Naranjito. En estos, y a base de las prioridades municipales, se han desarrollado o se desarrollan actividades relativas al tema. En la actualidad, los municipios de Ceiba, Carolina, Añasco, Gurabo, Ponce, Patillas, Morovis, Yabucoa, Sabana Grande y Caguas se encuentran en diversas fases del proyecto.

Entre las actividades relacionadas con las comunidades, dos de ellas merecen una especial mención: la reforestación de un parque pasivo urbano en el pueblo de Ceiba (en cooperación

con el Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico, el Gobierno Municipal de Ceiba y el Servicio de Extensión Agrícola) y la reforestación de la Escuela Elemental del Colegio Bautista de Carolina.

El desarrollo de un inventario de los árboles históricos o legendarios de Puerto Rico recibió el apoyo de muchos de los sectores de la población. No obstante, cabe destacar que la ceiba, *Ceiba pentandra*, figura como la especie arbórea con mayor testimonio pueblerino. Esa particular situación de la ceiba conducirá en la eventualidad a la publicación de una obra sobre la presencia de la ceiba en el acontecer histórico de Puerto Rico.

El acuerdo cooperativo que el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical realiza con la Escuela Superior Luis Muñoz Rivera de Utuado alcanzó un doble triunfo en mayo de 1997. La celebración del Cuarto Simposio de Investigación Científica en las facilidades del Colegio Regional de la Montaña de la Universidad de Puerto Rico sentó las bases para una nueva etapa en la enseñanza de las ciencias naturales y su integración real y efectiva con otras disciplinas de la educación: estudios sociales (historia), español y matemáticas. Por otro lado, el reconocimiento a la profesora Noemí Méndez Irizarry de parte del Departamento de Educación de Puerto Rico con el premio "Outstanding Teacher Award" de 1997 en el área de biología fue un motivo de gran satisfacción, orgullo y entusiasmo. Finalmente, la evaluación minuciosa y cuidadosa sobre todas y cada unas de las críticas o señalamientos a la obra *Panorama histórico forestal de Puerto Rico* han sido evaluados e incorporados.

Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica*. 28(4a): 585-599.

Morales Cardona, T.; Ruiz, B.; Lugo, A.E.; Morris, G. 1994. Un llamado a la acción para salvaguardar el patrimonio natural y la calidad de vida en Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 67-70.

Ramos, O.M.; Lugo, A.E. 1994. Mapa de la vegetación de Puerto Rico. *Acta Científica*. 8(1-2): 63-66.

Sánchez, M.J.; López, E.; Lugo, A.E. 1997. Chemical and physical analyses of selected plants and soils from Puerto Rico (1981-1990). U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry Research Note IITF-RN-1. 112 p.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Carlos M. Domínguez
Historiador Forestal

Este informe, el cual cubre el período entre el primero de octubre de 1996 al 30 de septiembre de 1997, representa una jornada de especial interés y significado. Entre los factores que han promovido esta situación se ubican el desarrollo de varias actividades especiales, la publicación del mayor número de artículos por año en comparación a años anteriores, el auge del proyecto de la selección de los símbolos municipales (árbol, flor y ave), las actividades relacionadas a las comunidades y el desarrollo de un inventario de los árboles históricos o legendarios de Puerto Rico.

La celebración del primer centenario del Día del Árbol en Puerto Rico (mayo 1997) estimuló en gran medida a que durante este año se efectuasen un mayor número de actividades inherentes a los árboles. Dentro de esa perspectiva las actividades más sobresalientes se escenificaron en San Juan (en cooperación con la Comisión de Instrucción y Cultura de la Cámara de Representantes de Puerto Rico) y en el municipio de Ceiba (en cooperación con el Servicio de Extensión Agrícola). El proyecto sobre la selección de los símbolos municipales (árbol, flor y ave) finalizó en Orocovis, Canóvanas, Dorado y Naranjito. En estos, y a base de las prioridades municipales, se han desarrollado o se desarrollan actividades relativas al tema. En la actualidad, los municipios de Ceiba, Carolina, Añasco, Gurabo, Ponce, Patillas, Morovis, Yabucoa, Sabana Grande y Caguas se encuentran en diversas fases del proyecto.

Entre las actividades relacionadas con las comunidades, dos de ellas merecen una especial mención: la reforestación de un parque pasivo urbano en el pueblo de Ceiba (en cooperación

con el Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico, el Gobierno Municipal de Ceiba y el Servicio de Extensión Agrícola) y la reforestación de la Escuela Elemental del Colegio Bautista de Carolina.

El desarrollo de un inventario de los árboles históricos o legendarios de Puerto Rico recibió el apoyo de muchos de los sectores de la población. No obstante, cabe destacar que la ceiba, *Ceiba pentandra*, figura como la especie arbórea con mayor testimonio pueblerino. Esa particular situación de la ceiba conducirá en la eventualidad a la publicación de una obra sobre la presencia de la ceiba en el acontecer histórico de Puerto Rico.

El acuerdo cooperativo que el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical realiza con la Escuela Superior Luis Muñoz Rivera de Utuado alcanzó un doble triunfo en mayo de 1997. La celebración del Cuarto Simposio de Investigación Científica en las facilidades del Colegio Regional de la Montaña de la Universidad de Puerto Rico sentó las bases para una nueva etapa en la enseñanza de las ciencias naturales y su integración real y efectiva con otras disciplinas de la educación: estudios sociales (historia), español y matemáticas. Por otro lado, el reconocimiento a la profesora Noemí Méndez Irizarry de parte del Departamento de Educación de Puerto Rico con el premio "Outstanding Teacher Award" de 1997 en el área de biología fue un motivo de gran satisfacción, orgullo y entusiasmo. Finalmente, la evaluación minuciosa y cuidadosa sobre todas y cada unas de las críticas o señalamientos a la obra *Panorama histórico forestal de Puerto Rico* han sido evaluados e incorporados.

ESTUDIOS ESPECIALES

Frank H. Wadsworth
Dasónomo de Investigación

Esta función es una combinación de tareas que hace el mejor uso de un veterano miembro del equipo de investigación con experiencia amplia. Localizado dentro del grupo de Cooperación Internacional del Instituto, este trabajo enfatiza mayormente las actividades internacionales.

ACTIVIDADES INTERNACIONALES

Fui invitado a una sesión en Costa Rica de la Comisión Mundial de Bosque y Desarrollo Sostenible referente a la formulación de política forestal para Latinoamérica, sometí un comentario de 5 páginas sobre las memorias de la reunión cubriendo lo siguiente: la audiencia próxima en África, políticas sobre intervención y sostenibilidad forestal, potencial del bosque secundario, la facultación, la actividad corporativa, la investigación, la demostración, y los méritos de una convención global de silvicultura.

Como miembro del Grupo de Estudio Silvicultural de la Comisión Forestal Norteamericana de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) participé en un seminario sobre el manejo integrado de plagas en Campeche, México. El grupo resolvió asignarle a un subgrupo, del cual soy miembro, que estuvieran una semana en el sureste de México explorando las oportunidades de investigación sobre la regeneración natural de la caoba. Programada para diciembre de 1997, la actividad incluye visitas a ensayos de campo pasados, bosques talados, e instituciones tales como el Bosque Modelo Canadiense en Campeche, estaciones de investigación gubernamentales, e instituciones de educación avanzada como posibles fuentes de proyectos estudiantiles. El grupo propone proveer apoyo técnico y monitoreo.

Como miembro de la Asociación de Conservación Caribeña, asistí a la reunión Anual General de Barbados. El tema fue enfocado hacia contenido de programa para el futuro e incluyó un estudio del impacto de la minería de oro y diamantes sobre los bosques de Suriname. De la discusión provino una solicitud de asistencia para integrar la minería y la sostenibilidad forestal, que fue contestada a través del envío de publicaciones recientes del Instituto a los intereses mineros.

La Sociedad Internacional de Forestales Tropicales, una organización centrada en Maryland, E.U. con 2,000 miembros alrededor del mundo, ha, durante casi 20 años, dependido del Instituto para generar contenido técnico para su periódico trimestral trilingüe. La tarea requiere una revisión de información pertinente recién impresa u de otra manera emitida. La biblioteca del Instituto, más los documentos recibidos de la oficina central de la Sociedad, constituye un eje único para la revisión y selección de material apropiado. Durante el año, las 4 ediciones contenían 105 documentos revisados y resumidos, 49 publicaciones mayores enumeradas y anotadas, una reseña de libro, y un editorial generado en el Instituto.

La reunión internacional sobre la caoba auspiciada por el Instituto en octubre de 1996 fue la ocasión para la presentación de un trabajo científico sobre una plantación de 60 años, su regeneración y crecimiento relativo a lugar y tamaño de árbol. Este trabajo, a ser publicado en las memorias de la reunión, fue un trabajo conjunto con un representante de la división forestal del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico y un estudiante de la Universidad de Puerto Rico. Como ayudante de la reunión, conduje un viaje de campo a la plantación para ver la abundante regeneración natural y a una plantación

de 30 años de caoba de procedencias de Centroamérica.

Un trabajo preparado previamente para una reunión auspiciada por el Centro Internacional para la Investigación Forestal (CIFOR, por sus siglas en inglés) en Perú sobre el manejo de bosque secundario y otro para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) para "Investigación Forestal Internacional en Costa Rica" sobre el raleo de liberación en bosque secundario fueron completados para publicación. El texto para un libro para escuelas forestales en Latinoamérica sobre "Producción Forestal para la América Tropical" fue sometido a imprenta y se ha comenzado su traducción del inglés al español.

ACTIVIDADES NACIONALES

Asistí a la convención anual de la Sociedad de Forestales Americanos en Albuquerque, Nuevo Méjico, y actué de enlace con el presidente de la Sociedad Mexicana de Forestales durante un viaje a Sonora. Un ensayo crítico fue sometido a la Sociedad sobre la falta de respuesta a la resolución del Congreso Forestal Americano reciente.

Unas contribuciones substantivas fueron sometidas para la formulación de política interna del Servicio Forestal en "Convention on International Trade in Endangered Species" (CITES), Apéndice II designación de caoba, profesionalismo en la ciencia, y estrategias de investigación.

EXTENSIÓN LOCAL

Fue provisto el texto técnico para un plan de reforestación estatal para Puerto Rico en cooperación con la División Forestal del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Como participante en un comité de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, propuse un currículo graduado para la administración del manejo de recursos naturales en cooperación con la Universidad Interamericana, hice un capítulo en borrador para un libro sobre el impacto de los Estados Unidos en la ciencia y tecnología en Puerto Rico durante el siglo pasado.

Dirigí 4 sesiones de capacitación de campo en fines de semana a 20 consejeros en tópicos naturales en preparación para el campamento de verano de los Niños Escuchas, y también serví de jurado en ferias científicas tanto en escuelas públicas y privadas del área de San Juan.

INVESTIGACIÓN

Asesoramiento fue provisto para un estudiante de la Universidad de Massachusetts (E.U.) en la remediación y análisis de la respuesta del bosque tropical a tratamiento silvicultural en el Bosque Experimental de Luquillo.

El análisis del rendimiento a 24 años de 1,400 árboles abarcando 18 especies del bosque tropical en respuesta a 18 parámetros ambientales en el Bosque Experimental de Luquillo fue casi completado.

INVESTIGACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Fred N. Scatena
Hidrólogo

La ecología de disturbios naturales y antropogénicos continúa siendo el enfoque mayor del Grupo de Ecosistemas del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IIDT). Durante el 1997, varios esfuerzos colaborativos nuevos fueron iniciados mientras que otros estudios fueron continuados o completados. Los estudios completados incluyeron aquellos sobre el impacto de carreteras en el Bosque Experimental de Luquillo (BEL) por Olander y otros; bajo revisión; Heyne, bajo revisión; requerimientos de flujo de corrientes para nacimientos de arroyos en el BEL (Scatena y Johnson 1998); cambios en el uso de terrenos recientes en el noreste de Puerto Rico (Ramos en imprenta); los efectos de cambios en el uso de terrenos sobre arroyos en el noreste de Puerto Rico (Clark 1997); un modelo hidrológico unidimensional (Schellekens 1997); y una evaluación "EMERGY" de los efectos de la actividad humana sobre el Bosque Experimental de Luquillo (Kharecha 1997). Los nuevos estudios incluyeron un estudio extensivo por la Vrije Universiteit de Amsterdam sobre cambios microclimáticos debidos a la deforestación de las tierras bajas. Este estudio ha resultado en la instalación de aún otra estación climática de tipo "walk-up" más. Esta estación fue instalada en un bosque de terreno anegadizo del Bosque de Sabana Seca en uno de los últimos remanentes de bosque de tierras bajas en la costa norte de Puerto Rico. Como parte de un proyecto del programa Área Natural para Investigación auspiciado por el Servicio Forestal (USDA), un conjunto de termómetros con registro ha sido colocado sobre un gradiente de elevación a lo largo del BEL para cuantificar el cambio en temperatura con la elevación. Como parte de nuestra investigación continua en un manejo de ecosistemas, una serie de parcelas de monitoreo han sido establecidas en las partes bajas del Río Mameyes para cuantificar los efectos de la extracción de agua en la ecología de los ríos que drenan al BEL.

En un esfuerzo por comprender el impacto a largo plazo de cambios en uso de terrenos en el noreste de Puerto Rico, se han hecho estudios estratigráficos y geomórficos de los arroyos que drenan al BEL (Clark 1997). Los estudios estratigráficos indican que el nivel del mar incrementó desde el final del último periodo glacial hasta alrededor de 3,000 años atrás cuando se estabilizó a un nivel aproximadamente 2 metros de su nivel al presente alrededor de 1,500 años atrás, el nivel del mar empezó a crecer relativo a su nivel actual. Entre los años 1,500 a 1,830, muchos de los bosques de tierras bajas en área de inundación fueron talados, y el agua y sedimento agregados a los canales incrementó. Desde la década de los 50' la reforestación del área ha resultado en una reducción del suministro de sedimento a los arroyos del área. Consecuentemente, la capacidad de transporte de los arroyos excede el suministro de sedimento que actualmente se está repartiendo, y los arroyos han comenzado a redistribuir sedimento que fue depositado durante los periodos anteriores de erosión agrícola. Más aún, los alcances bajos de los arroyos que drenan el BEL todavía se están ajustando a las actividades de uso de terreno del siglo pasado cambiando su tamaño, forma y geometría (Clark 1997).

En un esfuerzo por comprender los efectos actuales de las actividades y disturbios humanos sobre el BEL, una evaluación "EMERGY" de actividades humanas en el bosque fue completada como parte de la colaboración continua con la Universidad de Florida (Kharecha 1997). El estudio indicó que las estructuras antropogénicas representa alrededor del 6 por ciento de "EMERGY" almacenado en el BEL. De todas las estructuras antropogénicas, los caminos tienen la mayor cantidad de "EMERGY" almacenada. El "EMERGY" anual de los impactos ambientales sobre los caminos forestales son casi igual al

"EMERGY" del insumo requerido para dichos caminos. En contraste, el "EMERGY" de los impactos de la extracción de agua del bosque era alrededor de 250 veces mayor que el "EMERGY" de los insumos. Los efectos mayores de la extracción de agua del bosque, fueron la remoción de agua de los arroyos y la liberación río bajo de efluentes de aguas negras tratadas.

A pesar de que Puerto Rico es una de las islas más húmedas del Caribe con el área de Luquillo siendo el área más húmeda, la falta de agua adecuada continúa siendo un problema crónico para la población de la región. Los períodos extendidos de baja precipitación son comunes, y, durante casi cada año, algún sector de la Isla sufre condiciones de sequía durante periodos de tiempo fluctuante. En los pasados 40 años, han ocurrido seis sequías severas a través de toda la Isla: 1956-57, 1964-65, 1967-68, 1976, 1994 y 1997. En Haití, las secuencias paleoclimáticas del Holocénico, también indican que el área ha experimentado numerosos periodos de sequía durante los pasados 10,000 años (Hodell y otros 1991, Clark 1997). Una simulación del impacto del 1.76 C de calentamiento global en bosques tropicales indican que las condiciones climáticas futuras serán más secas en gran parte de la Cuenca del Amazona, y se espera que la región caribeña experimente un aumento en el largo de temporada de sequía y en la variabilidad de la precipitación interanual (Hulme y Viner 1995).

Dentro del BEL, los períodos extendidos de sequía han sido asociados al sabor de las hojas (Lawrence 1996), a reducciones en las poblaciones de lagartijas *Anolis* (Reagan 1996), a las arañas del sotobosque (Pfeiffer 1996), y a las lombrices de tierras exóticas (Zou y González 1997). Los estudios también indican que las poblaciones de ranas de Luquillo están bien correlacionadas con el número de días con menos de 3 mm de caída de lluvia. Después de 3 días sin lluvia, el 60 por ciento de las ranas tienen estómagos vacíos (Stewart y Woolbright 1996). La tensión por sequía a corto plazo en el BEL también puede estimular el crecimiento de biomasa microbica y aumentar la inmovi-

lización de nitrógeno microbico (Lodge 1996). Además de las sequías causadas por falta de lluvia, las desviaciones del agua de los arroyos, así como la construcción de represas, pueden crear condiciones similares a la sequía al cambiar la magnitud y frecuencia del flujo del arroyo (Pringle y Scatena en imprenta). Para poder comprender el impacto de las sequías y las desviaciones de agua sobre el ecosistema y el manejo del Bosque de Luquillo, ha sido iniciado una investigación colaborativa con la Universidad de Connecticut para desarrollar modelos de pronóstico para la ocurrencia de sequías en la región. Han continuado también la investigación sobre el manejo de desviaciones de agua. En un artículo recién completado, varios métodos para seleccionar reglas operacionales para la desviación de agua en los arroyos de cabecera del Bosque Experimental de Luquillo fueron desarrollados y comparados por Scatena y Johnson (bajo revisión). Este estudio enfatizó al camarón como especie indicador por su importancia en el ambiente acuático en el bosque. Un breve resumen de las recomendaciones del estudio siguen a continuación:

(1) En arroyos de primer orden dentro del BEL, el retiro del agua debe ser restringido cuando la profundidad de agua promedio en el estanque más profundo río abajo de la toma de agua es menor de 0.5 m, y las velocidades de canal promedio bajen a más de 0.02m/s. La abundancia de hábitat del camarón disminuye rápidamente a descargas menores de estos valores.

(2) A elevaciones medias, a los alcances de los arroyos de segundo y tercer orden dentro del bosque, los camarones migran hacia el nacimiento del arroyo a lo largo de los márgenes de los canales de agua poco profundas donde están protegidos de los peces depredadores. Por lo tanto, los retiros de agua y las actividades de protección de canal deben ser diseñados para mantener la cantidad y calidad de este hábitat.

(3) Para reducir la amenaza de la depredación por peces y otros organismos, los camarones de agua dulce que residen en El BEL son más activos de noche. Más aún, el soltar las larvas, la actividad de comer, y la migración

así como la cantidad de oxígeno dentro del arroyo, tienen patrones diurnos bien definidos. Por tanto, para minimizar su impacto, los retiros de agua y descargas de efluentes deben coordinarse con estas actividades biológicas y reducidas temprano en la noche.

(4) Debido a la variación entre arroyos de hábitat disponible y la estructura de las poblaciones, deben hacerse muestreos específicos de lugares cuando se está definiendo las reglas operacionales para tomas de especies.

En una extensión de esta investigación, se está haciendo un esfuerzo especial para determinar el impacto ecológico y la economía ecológica de la extracción de agua asociada con la toma de agua de la parte baja del Río Mameyes y la represa en la parte baja del Río Espíritu Santo. Este estudio se hará en colaboración con el programa Luquillo Long-Term Ecological Research, (LTER, por sus siglas en inglés), la Universidad Estatal de Utah, la Universidad Estatal de Colorado, y las Universidades de New Hampshire, Georgia y Colorado. Los estudios detallados en los sitios de investigación serán utilizados para:

(a) Cuantificar los cambios ambientales asociados con la extracción de agua con énfasis especial en su impacto sobre la calidad de agua estuarina y la migración contracorriente de las especies.

(b) Evaluar los costos y beneficios económicos y ecológicos de diferentes diseños de extracción de agua.

(c) Identificar las especies indicadoras y los procesos que pueden ser usados para determinar la salud acuática de estos ecosistemas y monitorear o evaluar la extracción de agua bajo circunstancias similares en algún otro lugar.

(d) Desarrollar y evaluar las reglas operacionales para mitigar el impacto de estas extracciones de agua o extracciones similares.

LITERATURA CITADA

- Clark, J.J. 1997. Effects of land use change on northeastern Puerto Rican rivers. Baltimore, MD: Johns Hopkins University. 187 p. Ph.D. Disertación.
- Heyne, K. A study of succession along abandoned roads in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Las Vegas, NV: University of Nevada, M.S. Thesis. Manuscrito en preparación.
- Hodell, D.A.; Curtis, J.H.; Jones, G.A.; Higuera-Gundy, A.; Brenner, M.; Binford, M.W.; Dorsey, K.T. 1991. Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10,500 years. *Nature*. 352: 790-793.
- Hulme, M.; Viner, D. 1995. A climate change scenario for assessing the impact of climate change on tropical rain forests. World Wildlife Foundation by the Climatic Research Unit, University of East Anglia. 34 p.
- Kharecha, P. 1997. Energy evaluation of the effects of human activities on the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Center for Environmental Policy. Gainesville, FL: University of Florida, Environmental Engineering Sciences. 34 p.
- Lawrence, W.T. 1996. Plants: the food base. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 17-51. Chapter 2.
- Lodge, D.J. 1996. Microorganisms. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 53-108. Chapter 3.
- Olander, L.P.; Scatena, F.N.; Silver, W.L. Effects of road construction on the composition and succession of a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. Manuscrito en preparación.

REFERENCIAS

- Pfeiffer, W.J. 1996. Arboreal arachnids. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 247-271. Chapter 7.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. 1998. Aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. En: Hatch U.; y Swisher, M.E., eds. *Tropical Managed Ecosystems: New Perspectives on Sustainability*. Oxford, UK: Oxford University Press: Chapter 12.
- Ramos, O.M. [En imprenta]. Assessing vegetation changes in northeast PR using remote sensing and GIS.
- Reagan, D.P. 1996. Anoline lizards. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 321-345. Chapter 9.
- Scatena, F.N.; Johnson, S. Instream flow analysis for the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. USDA Technical Report. Manuscrito en preparación.
- Schellekens, J. 1997. IITF Annual Letter 1996-97.
- Stewart, M.M.; Woolbright, L.L. 1996. Amphibians. Reagan, D.P.; Waide, R.B., eds. *The Food of a Tropical Rain Forest*. Chicago, IL: University of Chicago Press: 273-320. Chapter 8.
- Zou, X.M.; González, G. 1997. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pastures. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(3-4): 627-629.
- Britton, N.L.; Wilson, P. 1925. *Scientific Survey of Porto Rico and Virgin Islands*, New York. Published by the Academy Vol. IV, Part I, p. 76.
- Holdridge, L.R.C. 1942. *Árboles de Puerto Rico*, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Tropical Forest Experiment Station, Publicación Núm. 1, Vol. 1. p. 79.
- Liogier, H.A. 1995. *Descriptive Flora of Puerto Rico and Adjacent Island*, Editorial de la Universidad de Puerto Rico. Vol. IV, p. 163.
- Lioger, H.A.; Martorell, L.F. 1982. *Flora of Puerto Rico and Adjacent Islands: A Systematic Synopsis*, Editorial de la Universidad de Puerto Rico, p. 137.
- Little, Jr. E.L.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1988. *Árboles de Puerto Rico y las Islas Vírgenes*, Agriculture Handbook No. 449-S, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. 20013-6090, Vol. II, p. 910-911.
- Marzocca Angel. 1985. *Nociones Básicas de Taxonomía Vegetal*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- Roldán G.; Velázquez, L.F.; Machado, F. 1984. *Biología Integrada, los seres vivos y su ambiente*. Serie Conservemos el ambiente, Carvajal S.A. Colombia, Editorial Norma, págs. 22-23.
- Urban, Ignatius. 1903-1911. *Sympbolae Antillanae Seu Fundamenta Florae Indiae Occidentalis*, Lipsiae Fratres Borntraener, Vol. IV, p. 487.

LAS EMISIONES DE ÓXIDO DE NITRÓGENO GASEOSO Y EL CICLO DE NITRÓGENO EN BOSQUE TROPICAL HÚMEDO Y SECO EN PUERTO RICO - ¡EL USO DE TERRENO Y LAS ESPECIES ARBÓREAS HACEN LA DIFERENCIA!

*Heather Erickson, Michael Keller, Carlos Rubén Ortiz, María Rivera y Brynne Bryan
Voluntaria, Investigador Científico, Estudiante, Técnica de Biología y Técnica de Biología*

Los bosques tropicales están entre las mayores fuentes naturales de los mundialmente importantes gases de óxido de nitrógeno (N): óxido nitroso (N_2O) y óxido nítrico (NO). Sabemos que las emisiones de estos gases varían grandemente de acuerdo al clima, uso de tierra y tipo de suelo, pero sabemos muy poco acerca de las magnitudes de flujos exactos para localidades específicas, ni de como varían las emisiones conforme cambian los factores que las afectan. Tomamos muestras de flujo de N_2O y NO y medimos varios índices de tasas del ciclo de N a través de gradientes de precipitación, fertilidad del suelo y uso de terreno durante varios años en Puerto Rico. Muestreamos en pastizales activos, en pastizales abandonados, en bosques de sucesión, en bosques viejos cerca del Bosque Experimental de Luquillo (El Yunque) que es húmedo y también en bosques de sucesión y bosques viejos dentro del Bosque Estatal de Guánica que es seco. También tomamos muestras de un bosque fertilizado y uno no fertilizado en El Verde cerca de El Yunque. En todos los sitios de investigación, los flujos de óxidos de N estaban positivamente relacionados a concentración de nitrato en el suelo, tasas netas de mineralización y a la

nitrificación. En los bosques húmedos con fertilización de N, los flujos de N_2O y NO incrementaron a más de 20 veces sobre las emisiones relativamente bajas de segundo plano ($< 1 \text{ ng N/cm}^2/\text{h}$) en el bosque viejo en El Verde. Estos resultados apoyan la hipótesis que altas tasas cíclicas de N en el suelo dan lugar a la producción considerable de óxidos de N medidos en muchos suelos tropicales. La cantidad de N en la hojarasca arbórea también estaba relacionada con emisiones de estos gases. Los flujos de óxido de N y las tasas del ciclo de N fueron mayores en bosques de sucesión, húmedos o secos, que tuvieron insumo grande de N de hojarasca. Estos bosques de sucesión "calientes" tenían una proporción relativamente grande de especies arbóreas leguminosas en el dosel, lo que sugiere que las alteraciones antropogénicas de las comunidades del bosque pueden contribuir al incremento de emisiones de óxido de N. Más aún, mientras la cobertura de especies arbóreas leguminosas puede estar aumentando, como en Puerto Rico, en otros lugares del Caribe hay gran probabilidad de que las emisiones de óxido de N han aumentado recientemente.

INVESTIGACIÓN DE REHABILITACIÓN DE BOSQUES EN BRASIL

John A. Parrotta
Dasónomo Forestal

y
O.H. Knowles
EKO Consultoria Meio Ambiente
Porto Trombetas, Pará, Brasil

La restauración del bosque tropical en lugares severamente degradados tales como terrenos minados es un reto formidable, que requiere la síntesis del mejor conocimiento silvicultural y ecológico disponible. Las opciones de reforestación difieren en sus costos de implementación y manejo y su efectividad para restaurar las funciones ecológicas perdidas, la estructura forestal, y la biodiversidad. Desde el 1979, una compañía minera del Brasil (Mineração Río do Norte) ha utilizado un número de diferentes técnicas de reforestación usando mayormente especies arbóreas nativas del bosque primario para restaurar aproximadamente 80-100 ha/yr de bosque primario terra firme destruido durante la extracción de mera de bauxita en Trombetas, en el estado de Pará, Brasil (Knowles y Parrotta 1995).

Durante el pasado año, comparamos la estructura y composición florística de áreas de reforestación de 10 a 12 años de edad que fueron establecidas entre 1984 y 1987 usando cinco técnicas diferentes, o tratamientos:

(1) Sembrados mixtos de aproximadamente 70 especies arbóreas de diferentes estados sucesionales (la práctica corriente estándar de reforestación en el lugar);

(2) La aforestación estándar "fracasada" (igual a la anterior, salvo por la aplicación insuficiente de la capa vegetal superior);

(3) Siembra directa con aproximadamente 40 especies nativas de sucesión temprana (dependiente de la aplicación de la capa vegetal superior con un banco de semillas para la regeneración forestal);

(4) Sembrados mixtos de especies comerciales con 5 especies de *Eucalyptus*, *Acacia mangium*, y una especie arbórea nativa, *Sclerolobium paniculatum*;

(5) Monocultivo de *S. paniculatum*;

(6) La regeneración natural (resguardado en banco de semillas en el suelo).

En todos los casos la preparación del sitio del área minada incluyó el nivelar la sobrecarga de arcilla, reemplazando aproximadamente 15 cm de capa vegetal superior [excepto el tratamiento (2)] y desgarramiento profundo de las líneas de sembrado de árboles.

Con la excepción del tratamiento de aforestación estándar "fracasada" (2), el porcentaje de cobertura de copa tuvo un alcance desde 53 a 70 por ciento, el área basal alcanzó desde 14 a 27 m² ha⁻¹, y el desarrollo de la cubierta forestal fue generalmente muy buena con profundidades medias de hojarasca + humus con alcance de 34 a 44 mm entre los restantes cinco tratamientos. El desarrollo del área basal fue mayor en los tratamientos de las especies comerciales mixtas (25 m² ha⁻¹) y el monocultivo de *S. paniculatum* (27 m² ha⁻¹) y significativamente más alto que en los tratamientos de regeneración natural (20 m² ha⁻¹), siembra directa (17 m² ha⁻¹) y aforestación estándar (14 m² ha⁻¹).

En las parcelas de estudio de aforestación estándar "fracasada", la cobertura promedio de la copa, el área basal arbórea, y las profundidades de la hojarasca + humus fueron 29 por ciento, 1.9 m² ha⁻¹, y 15 mm respectivamente (tabla 1). El crecimiento arbóreo en

estas parcelas fue pobre, y las yerbas generalmente dominaban el sotobosque, impidiendo la regeneración natural excepto por algunas especies de sucesión temprana (Parrotta y otros 1997). Estos resultados resaltan la importancia de la preparación cuidadosa del lugar, particularmente de la aplicación de una capa vegetal superior suficiente para comenzar a reponer la materia orgánica perdida, la capacidad de retención de agua, y los nutrientes en estos suelos severamente degradados.

La riqueza arbórea alcanzó desde 15.5 hasta 35.4 especies por cuadrante de estudio de 78.5 m² y fue mayor en el tratamiento de siembra directa, seguida de la aforestación estándar, la regeneración natural, el monocultivo de *Sclerolobium*, especies comerciales mixtas, y la aforestación estándar "fracasada" (tabla 1; figura 1). Se encontraron diferencias importantes en la composición y dominancia de especies arbóreas entre los tratamientos. Aunque de corta duración, especies de sucesión temprana tales como *Vismia* spp. y *Belucia dichotoma* eran muy comunes en todos los tratamientos, las especies arbóreas de sucesión tardía de bosque primario, de más larga duración, eran más comunes y generalmente tenían valores de importancia mayores en el tratamiento de aforestación estándar que en el tratamiento de siembra directa (fig. 2). Los demás tratamientos fueron dominados casi exclusivamente por especies arbóreas de sucesión temprana.

Los resultados demuestran que todos los tratamientos están siendo progresivamente

enriquecidos a través de la regeneración del banco de semillas del suelo y la colonización subsiguiente por especies de bosque primario de los bosques sin disturbios que rodean el lugar minado. Sin embargo, aquellos tratamientos que envuelven siembras de especies de sucesión tardía, particularmente el tratamiento de aforestación estándar, proveen la mejor oportunidad para la sucesión forestal natural. Además, la dominancia relativamente de espacio de más larga vida en estos tratamientos pueden representar a manera de un "seguro" en contra de la sucesión interrumpida o reversión a pasto. Esto puede ocurrir ya que las especies pioneras tempranas mueren y crean condiciones microclimáticas en el sotobosque menos favorables para la regeneración de especies arbóreas de sucesión tardía y más favorable a la invasión de pastos propensos a incendiarse. (Ver tabla y figuras, versión inglés).

LITERATURA CITADA

- Knowles, O.H.; Parrotta, J.A. 1995. Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and field performance indices. *Commonwealth Forestry Review*. 74(3): 230-243.
- Parrotta, J.A.; Knowles, O.H.; Wunderle, J.M. 1997. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 99(1-2): 21-42.

INVESTIGACIÓN DE VIDA SILVESTRE

Joseph M. Wunderle, Jr.

Biólogo de Investigación de Vida Silvestre

Durante el año fiscal 1997, iniciamos dos proyectos de campo nuevos, completamos el análisis para un proyecto, y publicamos tres artículos. Estas actividades se resumen a continuación:

NUEVOS PROYECTOS DE CAMPO INICIADOS

Movimientos, alcance territorial, y uso de hábitat por la Boa de Puerto Rico en el Bosque Experimental de Luquillo

Se han iniciado estudios en el BEL usando radiotransmisores quirúrgicamente implantados para caracterizar los movimientos y el uso de hábitat para la Boa de Puerto Rico (*Epicrates inornatus*), especie en peligro de extinción. En el BEL, esta especie es muy arboreal, pasando la mayor parte de su tiempo en la parte alta de los árboles. Intentaremos caracterizar los tipos de árboles usados por las Boas, esto podría ser útil en reducir la depredación potencial de las Boas en los nidos de la Cotorra Puertorriqueña. Al presente contamos con nueve individuos que son seguidos en base semanal. El estudio se ha planificado para un período de tres años.

Fenología de algunos frutos comunes consumidos por la Cotorra Puertorriqueña

Se inició un estudio de fenología para monitorear los frutos consumidos por la Cotorra Puertorriqueña mensualmente a lo largo de dos caminos fenológicos (Caimitillo, 10 especies, 122 individuos, y Palo Hueco Quebrada Grande, 11 especies, 144 individuos). Este estudio difiere de un estudio fenológico anterior que hicimos usando muestras más grandes que nos facilitaron el cuantificar la variación individual en la producción de frutos. El propósito del estudio es caracterizar la variación en la producción de frutos para ayudar a comprender el comportamiento de la Cotorra

Puertorriqueña y para identificar los períodos de tiempo más apropiados para soltar cotorras. El estudio fue iniciado en agosto de 1996, y las plantas con frutos serán monitoriadas al menos durante 5 años o más, si fuera posible.

ANÁLISIS COMPLETADO

Distribución de aves en plantaciones dominicanas de café en sombra: relaciones de área y hábitat

Durante este período, completé un análisis de variables de censo y hábitat previamente obtenido en plantaciones de café en sombra. En este estudio, tanto aves residentes así como las migratorias neárticas que invernan, fueron muestreadas por conteo de puntos en 40 plantaciones de café en sombra pequeñas a medianas (0.07 a 8.65 ha) con un sobrepiso de *Inga vera* en la Cordillera Central, República Dominicana. El propósito del estudio fue determinar la importancia relativa del área, aislamiento, y estructura del hábitat de las plantaciones para la distribución y abundancia de aves como se resume en la tabla 1. La variación en la abundancia no estaba relacionada al área de la plantación en siete especies migratorias, pero la abundancia local de cuatro especies residentes incrementó significativamente con el área. La elevación fue la única variable que contribuyó significativamente al número total de especies por plantación (menor número de especies a mayor elevación), y ningún variable de hábitat contribuyó significativamente a la variación en el número total de especies migratorias. En contraste, el número total de especies residentes está correlacionada significativamente con algunos variables: números más altos de especies residentes fueron encontrados en plantaciones más grandes y más viejas a elevaciones más bajas, y en plantaciones más grandes y más viejas a elevaciones más bajas, y

en plantaciones con tallos numerosos > 3 cm en d.a.p., con poca o ninguna poda de las ramas del sobrepiso, y cobertura de dosel máximo entre 12.0 a 15.0 m. Pude concluir de estos hallazgos que las plantaciones de café en sombra con altos niveles de diversidad estructural y florístico deben ser fomentadas para la conservación de las aves, y aún las plantaciones más pequeñas, si no están muy aisladas por áreas sin árboles, pueden contribuir a la abundancia y diversidad de aves en las regiones agrícolas tropicales.

PUBLICACIONES DURANTE ESTE PERÍODO

Durante el año fiscal 1997, se publicaron tres artículos. Nuestros estudios resumiendo la distribución de aves en plantaciones de café al sol y en sombra en la República Dominicana indicaron que las aves del bosque eran más comunes en plantaciones de café en sombra en contraste con plantaciones al sol (sin sombra) en que especies de matorral eran más abundantes (Wunderle y Latta 1996). Concluimos que las plantaciones de café en sombra podrían tener un papel importante en ayudar a mantener la diversidad en algunas regiones agrícolas tropicales. Durante el curso de nuestros estudios de café dominicano, encontramos una abundancia de especies de aves endémicas en las plantaciones de café, como también en los bosques de pino cercanos. Estudios ecológicos detallados de dos especies de pajarillos morfológicamente similares *Todus angustirostris* y *Todus subulatus* revelaron diferencias ecológicas y de comportamiento mayores, que se presumen importantes en reducir la competencia interespecífica entre ambas especies endémicas (Latta y Wunderle 1996). Finalmente, en mi comentario sobre la biodiversidad en las plantaciones de café (Wunderle 1997) enfatizé tres puntos relevantes:

(1) "La diversidad engendra diversidad". - Este representa el mensaje fundamental para la biodiversidad en plantaciones con tanta biodiversidad y diversidad estructural de la

vegetación, contribuyendo ambas a la biodiversidad de las plantaciones de café.

(2) "No es tan solo la cantidad de especies en las plantaciones, sino también la *calidad* de la especie, que hacen que las plantaciones de café en sombra sean un hábitat importante para la biodiversidad". - Esta declaración se refiere al hecho de que algunas plantaciones de sombra pueden ser atractivas a aves forestales que pueden usar las plantaciones como refugio en las regiones agrícolas.

(3) "Algunas plantaciones de café en sombra pueden proveer un hábitat de calidad equivalente a especies forestales tropicales nativas". - Esta declaración es basada en el hecho de que varias especies muestran los mismos niveles de fidelidad de sitio en las plantaciones en sombra que muestran en bosques nativos en el Caribe. El interés en el valor del café en sombra para ayudar a preservar la biodiversidad tropical continua conforme incrementa el número de estudios sobre las plantaciones de café. (Ver tabla, versión inglés).

LITERATURA CITADA

- Latta, S.C.; Wunderle, J.M. 1996. Ecological relationships of two todies in Hispaniola: effects of habitat and flocking. *The Condor*. 98: 769-779.
- Wunderle, J.M.; Latta, S.C. 1996. Avian abundance in sun and shade coffee plantations and remnant pine forest in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Ornitología Neotropical*. 7: 19-34.
- Wunderle, J.M. 1997. Commentary: Biodiversity in shade coffee plantations. En: Rice, R.A.; Harris, A.M.; McLean, J., eds. *Proceedings of the First Sustainable Coffee Congress* (1996). Washington, DC: Smithsonian Migratory Bird Center: 183-185.

ESTUDIOS ENTOMOLÓGICOS

Juan A. Torres
Entomólogo

En colaboración con Maribelis Santiago (IIDT), he continuando los estudios de los efectos de la hormiga cultivadora de hongos, *Trachymyrmex jamaicensis* en el movimiento de suelo, fertilidad y en la germinación de semillas en el Bosque Seco de Guánica. Después de once meses de observaciones no hemos observado germinación ni en las áreas de desperdicios o en las de control. Hemos estado simulando lluvias de cinco pulgadas de intensidad con la intención de ver si estas lluvias pueden inducir la germinación de semillas y determinar si las áreas donde esta especie de hormiga deposita sus desperdicios contribuye a la germinación y la sobrevivencia de las semillas del bosque.

En colaboración con Miguel Canals (DRNA) y Roy Snelling (Museo de Historia Natural de Los Angeles), he conducido estudios de los vuelos nupciales de las hormigas en el Bosque Seco de Guánica. Hemos estado conduciendo información sobre los vuelos por un periodo de 14 meses. Además, hemos descubierto tres nuevas especies de hormigas para Puerto Rico y varias nuevas especies de avispa. Nos

encontramos en el proceso de descripción de estas nuevas especies. También en colaboración con Roy Snelling sometimos un manuscrito para publicación donde se redescubre la especie *Camponotus ustus* y se describen dos nuevas especies del género *Camponotus*. Un manuscrito que trata sobre los hábitos alimenticios de las culebras ciegas (*Typhlops*) fue sometido al "Journal of Herpetology". Este trabajo se produjo en cooperación con Richard Thomas (UPR), Manuel Leal (Washington University) y Tom Gush (NSW-Australia).

Además, he estado realizando estudios en cooperación con Tappey Jones (Virginia Military Institute) sobre los venenos producidos por hormigas de los géneros *Camponotus*, *Crematogaster* y *Megalomyrmex*. Estamos en los trámites de redacción de manuscritos para publicar estos hallazgos.

Publicamos el siguiente trabajo: Torres, J.A. y Snelling, R.R. 1997. Biogeography of Puerto Rican ants: a non-equilibrium case? Biodiversity and Conservation, 6: 1103-1121.

INDUCCIÓN DE FLORECIDA Y PRODUCCIÓN DE FRUTOS EN *STYRAX PORTORICENSIS*, UN ÁRBOL RARO ENDÉMICO DE PUERTO RICO

Juan Ramírez, Carlos Estrada y John Parrotta
Técnico Forestal, Técnico Forestal e Investigador Forestal

Styrax portoricensis King ex Urban (Styracaceae) es un arbusto pequeño, siempreverde, endémico de los bosques montanos del este de Puerto Rico (fig. 1). Totalmente conocido como palo de jazmín, es uno de los árboles más raros de Puerto Rico, descrito por primera vez en el 1892 por el botánico alemán P. Sintenis de espécimes colectados en las Montañas de Luquillo en el 1935 por Clark Horn y Leslie Holdridge del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los E.U., y otra vez, en el 1954 por Roy Woodbury en el Río Espíritu Santo del Bosque Estatal de Carite (Little y otros 1974).

Otros treinta años pasaron antes de que la especie fuera documentada otra vez en el 1983 por Carlos Rivera del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, que encontró tres individuos en el valle Colorado del Pico el Cacique en el Bosque Nacional del Caribe. En el 1992 estos individuos fueron relocalizados por C. Estrada y J. Ramírez (Tabla 1). En este tiempo, presumiblemente por daños sufridos durante el huracán Hugo en el 1989, uno de los árboles (marcado #76-314) había sufrido daño severo a la copa, pero hasta entonces había retoñado y estaba floreciendo en los retoños; este individuo murió en el 1995. Otro estaba desarraigado y había producido numerosos retoños a lo largo de su tallo.

El crecimiento vegetativo observado y la inducción de la florescencia aparentemente relacionada al estrés sugieren que el acodo puede ser una técnica prometedora para inducir la producción de flores y frutos a esta especie. Si esta técnica fuera exitosa al grado de producir frutos maduros y semillas viables, entonces podría ser usada para producir plántulas de esta especie en peligro para la siembra en lugares apropiados en el bosque u otros lugares para la conservación ex situ.

En septiembre de 1994, un experimento preliminar de acodo fue iniciado por J. Ramírez y C. Estrada usando el árbol postrado y

desarraigado encontrado en El Cacique. Se escogieron cuatro retoños saliendo de diferentes posiciones a lo largo del tallo. Estos retoños tenían un alcance de diámetro entre 0.3 a 2.3 cm, y de largos entre 20 a 30 cm. Los acodos fueron preparados usando técnica estándar, con la aplicación de una preparación de hormonas de planta comercial (Rootove- -marca registrada) para estimular el crecimiento. Durante 1 año, se hicieron observaciones mensuales de iniciación de la yema floral, florescencia, y producción de fruto. Los resultados se resumen en la figura 2.

La producción de flores ocurrió rápidamente durante los primeros 3 meses, así como el inicio de frutos, que culminó a los 3 meses. Las tasas de aborto de flores y frutos era alta. De los 109 frutos producidos entre octubre a diciembre de 1994, solo 9 (de una sola semilla) maduraron a fecha de agosto de 1995. Las semillas de estos frutos fueron sembradas en tiestos en el lugar del ensayo usando suelo de superficie local. Dos de las nueve semillas germinaron, de las cuales una sobrevivió; ha sido trasplantada con éxito y está siendo monitoreada.

Desde que se realizaron estos experimentos, cuatro árboles nuevos han sido descubiertos (en 1997) en el Bosque Experimental de Luquillo en un área entre las cuencas hidrográficas de Bisley y El Cristal. Estos descubrimientos dan las esperanzas que la especie no sea tan rara como previamente se había pensado. No obstante, los resultados de los experimentos de acodo son alentadores y pueden, en el futuro, ser parte importante de una estrategia comprensiva de conservación para este y otros árboles raros y en peligro de extinción. (Ver tabla y figuras, versión inglés).

LITERATURA CITADA

Little, E.L., Jr.; Woodbury, R.O.; Wadsworth, F.H. 1974. Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. Agric. Handb. 449. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 1024 p. Vol. 2.

EL EXPERIMENTO DE LA BIÓSFERA-ATMÓSFERA A GRAN ESCALA EN LA AMAZONIA

Michael Keller
Investigador de Ciencias Físicas

El experimento de la biósfera-atmósfera a gran escala en la Amazonia Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA, por sus siglas en inglés) es una iniciativa internacional de investigación encabezada por Brasil. El LBA está diseñado para crear el nuevo conocimiento necesario para la comprensión del funcionamiento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico de la Amazonia, el impacto del cambio de uso de terrenos en estas funciones, y las interacciones entre la Amazonia y el sistema Tierra. El LBA está centrado en dos preguntas claves que serán comprendidas a través de la investigación multidisciplinaria, integrando estudios en las ciencias físicas, químicas, biológicas, y humanas:

- ¿Cómo funciona la Amazonia actualmente como una entidad regional?
- ¿Cómo afectarán los cambios en uso de tierras y clima a las funciones biológicas, químicas y físicas de la Amazonia, incluyendo la sostenibilidad del desarrollo en la región y la influencia de la Amazonia en el clima global?

En el LBA, el énfasis se dará a las observaciones y al análisis, éstos ampliarán la base del conocimiento para la Amazonia en seis áreas generales: Clima, Físico, Almacenamiento e Intercambio de Carbono, Biogeoquímico, Químico Atmosférico, Hidrología, y Uso de tierras y Cobertura de Tierras. El programa está diseñado para contestar los asuntos más importantes reseñados por la Convención del Clima. También proveerá la base para el uso sostenible de la tierra en la Amazonia, usando datos y análisis para definir el estado actual del sistema y su respuesta a perturbaciones observadas, complementadas por el diseño de modelos que proveerán discernimiento para posibles cambios en el futuro. En el componente

de clima físico, estudios meteorológicos e hidrológicos se llevarán a cabo para escalas espaciales desde los cuadrantes de la Amazonia entera, con énfasis en determinar y comprender las variaciones espaciales y temporales de los flujos de energía y agua. Las variaciones de clima, y las respuestas del sistema Amazónico a estas variaciones, se determinarán en escalas de tiempo diarias a estacionarias. Los campos de datos generados por un modelo de predicción del tiempo numérico serán almacenados y usados en un esquema de asimilación de datos en cuatro dimensiones (4-DDA, por sus siglas en inglés) como una herramienta primaria para analizar las observaciones.

La duración del LBA deberá permitir observaciones directas de variaciones de clima interanuales, posiblemente incluyendo los efectos del ciclo El Niño - Oscilación Sureña (ENSO, por sus siglas en inglés). Los datos colectados en el programa de campo serán usados para mejorar la representación de procesos dinámicos claves en los modelos meteorológicos. Los resultados ayudarán a construir los Modelos de Circulación General usados para examinar las intervenciones entre el clima y los cambios en cobertura de tierra en la Amazonia.

El componente de Almacenamiento e Intercambio de Carbono se dirige a contestar dos preguntas básicas: (1) los ecosistemas no perturbados de la Amazonia ¿estarán funcionando como una trampa neta de carbono? y (2) ¿cuánto es la pérdida de carbono resultante de cambios en la cobertura de tierra y uso de tierra tales como en la tala de bosque para fines agrícolas u operación maderera selectiva? Durante varios años se obtendrán medidas en tierra de almacenamiento y flujos de carbono de sitios estratégicamente localizados a lo largo de gradientes de

intensidad de uso de tierra, vegetación, y clima, complementados por observaciones de campañas aéreas y de modelos. Los resultados de modelos ecológicos se usarán juntamente con un Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) para toda la cuenca para estimar el presupuesto de carbono para la Amazonia. Las observaciones aéreas pueden proveer estimados de flujos de carbono integrados sobre la cuenca para intervalos cortos, a manera de verificación de los modelos. El componente Biogeoquímico enfatizarán el ciclaje de nutrientes y emisiones de gases de invernadero de bosques naturales y secundarios y tierras manejadas. Las observaciones se harán en el curso de varios años en sitios estratégicamente localizados a lo largo de gradientes de intensidad de uso de tierras y clima, cubriendo así una gama de fertilidad de suelo y usos de tierras. Las medidas cuantificarán los flujos de gases trazas (enfaticando el metano y el óxido nitroso) flujos de nutrientes (incluyendo la exportación a ríos) y cambios de inventarios de nutrientes. Estos datos serán complementados por observaciones aéreas periódicas, inventarios multi-escala y experimentos manipulativos locales. Los datos serán unificados en un GIS y ligados a modelos de funcionamiento de ecosistemas. Los principales productos serán el análisis de los efectos del cambio de uso de tierras en las fuentes de gases de invernadero (un énfasis primario de la Convención del Clima); el diagnóstico de los efectos de variaciones de clima y uso de tierras sobre los gases traza y presupuestos de nutrientes; y la evaluación de las implicaciones para el uso sostenible de tierras de cambios en las dinámicas de nutrientes bajo prácticas de manejo diferentes.

En el componente de Química Atmosférica, el enfoque primario será la comprensión de la influencia actual de la Amazonia sobre las concentraciones tropicales y globales de oxidantes (ozono, radical hidróxido), precursores de oxidantes (óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, monóxido de carbono) y aerosoles, así como para complementar los estudios de gases de

invernadero (dióxido de carbono, óxido nitroso, metano) propuestos en los componentes biogeoquímicos y de almacenamiento e intercambio de carbono. El diseño experimental combina observaciones en tierra a largo plazo y medidas aéreas intensivas. Las campañas aéreas trazaron el intercambio de gases en la biósfera-atmósfera y de los aerosoles en la escala de la cuenca, complementando las observaciones hechas en tierra, e investigarán el transporte de gases y aerosoles a través de los límites de la cuenca. Los modelos tridimensionales a gran escala de química atmosférica, usando las observaciones meteorológicas asimiladas (obtenidas en el componente de clima físico), datos aéreos y de tierra, serán aplicados a cuantificar los intercambios de gases traza y aerosoles entre la Amazonia y la atmósfera global. El componente Hidrológico considerará asuntos relacionados tanto con la cantidad como con la química del agua en la cuenca amazónica. Los almacenes y flujos de agua, y los controles del movimiento de agua en suelos y en riachuelos, y el transporte asociado de constituyentes serán determinados para un juego de captación representando una gama de intensidades de uso de tierras. Cuencas de captación forestadas y deforestadas de varios kilómetros cuadrados tendrán instrumentación para tomar medidas de alta resolución temporal de descarga, precipitación, evaporación, interceptación, almacenamiento de aguas de suelo, escape de agua subterránea y exportación de sedimento y nutrientes. Los datos serán usados para mejorar la capacidad de los modelos hidrometeorológicos en determinar las respuestas a flujos del Amazonas y sus tributarios a cambios en el clima y a cambios en el uso de tierras. Los controles en el movimiento de materiales de las tierras altas a través de la zona ribereña y dentro de riachuelos serán estudiados en cuencas de captación pequeñas drenados por riachuelos de orden bajo. Los modelos de presupuesto de nutrientes en cuencas de captación mayores integrarán resultados de trabajos de campo de las cuencas pequeñas con modelos existentes de biogeoquímico de ríos de orden alto, así como con modelos nuevos y existentes de las vías hidrológicas.

Los cambios en uso de tierras y cobertura de tierras desde vegetación natural hasta cultivos agrícolas y el crecimiento subsiguiente será cuantificado y relacionado tanto a causas físicas como a causas socioeconómicas. Los estudios a lo ancho de Amazonia sobre la deforestación y alteración forestal serán conducidos usando la técnica telesensorial de satélite y datos de estudio. Se llevarán a cabo estudios particulares para ilustrar cómo los cambios en uso de tierras afectan la cobertura de tierras. La investigación para definir los factores externos y las condiciones que causan estos cambios enfatizarán el desarrollo de modelos predictivos de cobertura de tierras y cambio en el uso de tierras.

El LBA combinará herramientas analíticas recientemente desarrolladas con diseños experimentales innovadores y multidisciplinarios en una síntesis muy eficaz, que a su vez, creará el conocimiento nuevo necesario para contestar asuntos y controversias de mucho de tiempo. El LBA proveerá nuevo entendimiento de los controles ambientales sobre los flujos de energía, agua, carbono, nutrientes y gases traza entre la atmósfera, hidrósfera, y biósfera de la Amazonia para ayudar a proveer las bases científicas de las políticas de uso sostenible de los recursos naturales Amazónicos. La intensificación de las capacidades de investigación y de redes dentro, y entre los países amazónicos asociados al LBA, ayudarán al avance en la educación y la investigación aplicada dentro del desarrollo

sostenible y ayudarán en el proceso de formulación de políticas para el desarrollo sostenible de la región.

Los científicos del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IIDT) y nuestros colaboradores hemos estado activamente planificando el programa del LBA y esperamos participar en el mismo cuando esté en su fase activa. Planificamos enfocar nuestros esfuerzos en asuntos relacionados a uso de tierras y cambio en cobertura en los municipios de Santarem y Belterra, Pará, Brasil. Trabajaremos en estrecha coordinación con nuestros socios de instituciones de investigación brasileñas, específicamente EMBRAPA-CPATU de Belem, Pará, y participantes claves de otras agencias gubernamentales brasileñas tales como los gerentes de Bosque Nacional Tapajós en las afueras de Santarém. Los científicos del Instituto y colaboradores enfocarán sus esfuerzos en los efectos de las cosechas madereras selectivas, uno de los mayores usos de tierra hoy día en la Amazonia. Esperamos aprender cómo la cosecha maderera selectiva afecta los ciclos de energía, agua, carbono, y nutrientes, y eventualmente, para proveer nuevo conocimiento sobre el funcionamiento forestal, que podría ser aplicado al diseño de sistemas sostenibles de manejo forestal.

Para más información sobre el LBA puede comunicarse al IIDT o vea <<http://yabae.cptec.inpe.br/lba>>.

INVESTIGACIÓN Y COOPERACIÓN INTERNACIONAL

Peter L. Weaver
Investigador Forestal

La investigación de cinco especies arbóreas para el Manual de Silvicultura del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical fue uno de los mayores esfuerzos en investigación para este año (Weaver 1996, 1997a-d).

Cyrilla racemiflora L., cuyo alcance se extiende desde el sureste del estado de Virginia, E.U. hasta el sur de Manaus, Brasil obtiene su mayor tamaño en los bosques montanos de las Antillas (Weaver 1996). En Puerto Rico, las *cyrillas* se aproximan a 2 m de d.a.p. y pueden tener cerca de los 1,000 años. Muchos árboles de *cyrilla* maduros son huecos y sirven de lugares de anidaje para la cotorra de Puerto Rico, una especie rara y en peligro de extinción.

Magnolia splendens Urban que raras veces alcanza 1 m de d.a.p. y 75 m de altura, es un árbol endémico de las montañas de Luquillo. Una vez utilizado como la madera por excelencia en la producción de muebles finos en Puerto Rico, la *magnolia* ha decaído en años recientes debido a las prácticas de tala en el pasado y a los cambios forestales resultando de los huracanes. La *magnolia* crece lentamente, probablemente alcanzando unos 65 cm y en alrededor de 600 años. Ocasionalmente pueden alcanzar tamaños mayores y son capaces de retoñar vigorosamente luego de un huracán, los árboles más grandes de las partes altas del bosque de Luquillo pueden estar cerca de los 1,000 años.

Ormosia krugii Urban, y *Sloanea berteriana* Choisy, ambas especies con usos comerciales, maduran entre 25 a 30 m de altura y 60 a 90 cm de d.a.p. Ambas, con alcances territorialmente similares, son endémicas a los bosques montanos de las islas caribeñas. Especímenes grandes de *Sloanea* en la República Dominicana y Dominica han servido de lugar de anidaje para cotorras.

Pterocarpus officinalis Jacq., común en terrenos anegadizos costaneros desde México hasta el delta del Río Amazonas y las islas caribeñas, puede alcanzar 40 m de altura y acercarse a 1 m de d.a.p. Adaptado a terrenos bajos inundados periódicamente, sus semillas aladas pueden germinar directamente en el suelo o flotando sobre desechos.

La historia de la caoba de hoja grande (*Swietenia macrophylla* King) y su manejo en Belize fueron otras áreas de énfasis durante este año. Fueron revisados sesenta años de récords del departamento forestal de Belize además de otras informaciones disponibles que resumen el estado de la caoba en ese país. Los resultados de este trabajo fueron presentados en dos conferencias: (1) la conferencia sobre la caoba de hoja grande llevada a cabo en San Juan, Puerto Rico en octubre de 1996 y (2) simposio internacional sobre las dimensiones humanas en el manejo de los recursos humanos llevados a cabo en Belize en febrero de 1997 (Weaver 1997e). Además, la historia de los 58 años de actividad silvicultural del Servicio Forestal de Puerto Rico y El Caribe fue presentado en el Taller Nacional de Silvicultura llevado a cabo en Warren, Pennsylvania, en el mes de mayo.

Otra área de énfasis es el trabajo cooperativo con el Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico. El documento que resume los conocimientos acerca de su reserva de 178 ha está casi finalizado. Además, se establecieron dos lugares de monitoreo a largo plazo: (1) un pequeño cuadrante convenientemente localizado como un lugar de interpretación; y (2) un cuadrante de investigación en bosque seco semi-siempreverde para determinar la estructura, composición y dinámicas del rodal. Más aún se sembraron más de 100 árboles nativos de 5 especies como parte de un proyecto encaminado a estimular la recuperación de la vegetación nativa.

Al nivel internacional, dos proyectos colaborativos fueron iniciados en conjunto con la Agencia para el desarrollo Internacional de los Estados Unidos en Nicaragua. Estos son: (1) el establecimiento de cuadrantes forestales permanentes en el Volcán Mombacho con una Organización No Gubernamental (Colcibolca); y (2) una revisión histórica de las *Meliaces* mayores (caoba de hoja grande y de la Costa del Pacífico, y una especie de Cedro) en Nicaragua. En la República Dominicana, el proyecto de reforestación con la ONG local, (Fondo Integrado Pro-Naturaleza, PRONATURA), continúa. Alrededor de 10,000 árboles de *Eucalyptus grandis* y *Acacia* sp. fueron sembrados en 5 ha. Después de 1 año la tasa de sobrevivencia era alrededor de 60 por ciento.

LITERATURA CITADA

Weaver, P.L. 1996. *Cyrilla racemiflora* L., Swamp cyrilla. SO-ITF-SM-78. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 12 p.

Weaver, P.L. 1997a. *Magnolia splendens* Urban, Laurel sabino. SO-ITF-SM-80. Río Piedras,

PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 7 p.

Weaver, P.L. 1997b. *Ormosia krugii* Urban, Palo de matos. SO-ITF-SM-83. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 6 p.

Weaver, P.L. 1997c. *Sloanea berteriana* Choisy, Motillo. SO-ITF-SM-84. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 7 p.

Weaver, P.L. 1997d. *Pterocarpus officinalis* Jacq., Bloodwood. SO-ITF-SM-95. Río Piedras, PR: Silvics Manual. International Institute of Tropical Forestry. 7 p.

Weaver, P.L. 1997e. Mahogany in Belize: an historical perspective. En: 1997 International Symposium on Human Dimensions of Natural Resource Management in the Americas; 1997 February 25-28; Belize City, Belize. Book of abstracts. Belize City: Ministry of Natural Resources and University of Belize, Colorado State University. 67 p.

SILVICULTURA ESTATAL Y PRIVADA

Robin Morgan
Silviculturista

La silvicultura estatal y privada es dirigida por el consumidor, y orientada al servicio en cumplir con las necesidades de la sociedad en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los E.U. No es solo una colección de programas, es una manera de hacer negocios. La silvicultura estatal y privada es caracterizada por:

- la colaboración
- liderazgo compartido y unificado
- estrategias y asuntos comunes compartidos
- esfuerzos de programas complementarios, y
- sistemas de entrega modernos e integrados.

En el llevar a cabo los asuntos de negocio de la silvicultura estatal y privada, activamos a las personas y facilitamos el liderazgo compartido a través de propuestas colaborativas que cruzan las barreras agenciales y con las comunidades, incluyendo dueños de terrenos y personas con intereses en los programas no-dueños de tierras. Al hacerlo así, incrementamos la aceptación y el apoyo hacia el manejo forestal entre el público general y líderes de gobierno en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de E.U.

Los programas de silvicultura estatal y privada pueden dividirse en cinco categorías amplias:

Silvicultura urbana y comunitaria
Asistencia al terrateniente rural
Acción económica
Salud forestal
Fuego cooperativo

Todos los programas son entregados a través de asociaciones. La asociación puede tener un fundamento de asistencia financiera a través de una subvención o un acuerdo mutuo, o puede darse a través de la asistencia técnica y la colaboración para alcanzar una meta común.

Los socios participantes de programas de silvicultura estatal en Puerto Rico incluyen:

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico

Servicio Forestal de Puerto Rico

Universidad de Puerto Rico

Servicio de Investigación Cooperativo y de Extensión Educativa

Consejo de Desarrollo y Conservación de Recursos El Atlántico

Consejo de Desarrollo y Conservación de Recursos El Caribe

Servicio de Conservación de los Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Agencia de Servicios a Granjas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Agencia para el Desarrollo Rural del Departamento Agricultura de los Estados Unidos

Servicio de Pesca y Vida Silvestre del Departamento de lo Interior de los Estados Unidos

Servicio Nacional de Parques del Departamento de lo Interior de los Estados Unidos

Bosque Nacional del Caribe, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Instituto Internacional de Dasonomía Tropical - Investigación, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Hay muchos más socios y colaboradores, y ellos continúan valorizando y apoyando estos esfuerzos.

PROGRAMA

Silvicultura Urbana y Comunitaria

ASISTENCIA PROVISTA

Asistencia Técnica y Asistencia Financiera
(50 por ciento federal / 50 por ciento local)

A través de subvenciones pareadas al Negociado Forestal del Departamento de

Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA) y el Departamento de Agricultura de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, el Servicio Forestal apoya la entrega de asistencia técnica a otras agencias centrales gubernamentales, municipios, instituciones educativas, grupos de acción ciudadana, y miembros de la comunidad. La intención de este programa es crear y fortalecer la capacidad de estos otros grupos e individuos para manejar efectivamente los árboles individuales y bosques localizados dentro de las áreas en vías de desarrollo y desarrollados en estas islas.

Esta subvención pareada también incluye un premio financiero para partidas "de paso" a subrecipientes elegibles: gobierno local, grupos de acción comunitaria sin fines de lucro, e instituciones educativas.

El manejo forestal urbano incluye el sembrar árboles y su cuidado de establecimiento, mantenimiento a través del tiempo, remoción, protección, inventario y planificación gerencial, y relaciones públicas.

Conservación de los Recursos Naturales y Educación

Asistencia Técnica y Asistencia Financiera (50 por ciento federal/50 por ciento local)

Este es un programa auspiciado conjuntamente por el Servicio Forestal y la Asociación Nacional de Forestales Estatales. El programa envuelve personal del Servicio Forestal, el DRNA de Puerto Rico, el Departamento de Agricultura de las Islas Vírgenes de E.U., y muchos socios, incluyendo organizaciones educativas y de conservación. Abarca una audiencia amplia, desde niños pre-escolares hasta adultos, para incrementar la conciencia y apreciación hacia los recursos naturales, promoviendo destrezas de pensamiento crítico en la toma de decisiones sabias, fomentando además, la responsabilidad individual para conservar y proteger los recursos naturales. Este programa apoya y complementa el programa de Silvicultura Urbana y

Comuninataria. El tema de la Conferencia Forestal de Puerto Rico para este año lo fue la conservación del árbol durante la construcción.

Planificación de Recursos para el Bosque Estatal

Este programa provee asistencia técnica y financiera para capacitar a ingenieros forestales estatales para que pueden preparar, monitorear, y revisar planes a nivel isla dirigidos hacia los recursos forestales y que provean política y dirección de programa para las actividades relacionadas a la silvicultura en tierras estatales y privadas.

PROGRAMA

Asistencia al Terrateniente Rural

ASISTENCIA PROVISTA

Asistencia Técnica y Asistencia Financiera

Los programas de Asistencia al Terrateniente Rural incluye un número de programas que al público general puede aparentar ser un programa completamente integrado:

Manejo del Recurso Forestal 50 por ciento federal/50 por ciento local
Gerencia Forestal 50 por ciento federal/50 por ciento local
Plántulas, Vivero, y Mejoramiento Arbóreo 50 por ciento federal/50 por ciento local
Legado Forestal 50 por ciento federal/50 por ciento local
Programa de Incentivo de Gerencia 50 por ciento federal/50 por ciento local.

Manejo del Recurso Forestal

Con la ayuda financiera y técnica del Servicio Forestal, el Negociado Forestal del DRNA de Puerto Rico ayuda a terratenientes forestales privados a aplicar prácticas forestales acertadas y a encontrar mejores maneras de manejar y usar los recursos naturales en estas tierras forestales privadas. La intención de este programa es de proteger los recursos de suelo

y agua, mejorar el hábitat de vida silvestre, incrementar las oportunidades para la recreación al aire libre, así como el proveer productos madereros, planificación pre-cosecha, y la regeneración adecuada de la madera cosechada. En Puerto Rico, se prepararon 134 planes de manejo nuevos para tierras forestales privadas en el 1997, incluyendo 1,329 acres.

Programa de Gerencia Forestal

La intención primaria de este programa es de poner a los terratenientes forestales privados en contacto con profesionales en el campo de los recursos naturales a través del proceso de planificación forestal. Los planes de Gerencia Forestal del terrateniente y los acres cubiertos por estos planes son las medidas de entrega para este programa. El programa estimula a los terratenientes privados para que planifiquen principios de manejo de recursos ecológicos y económicos al manejar sus tierras forestadas para producir beneficios de recursos múltiples para generaciones presentes y futuras. En el 1997, se prepararon ocho planes nuevos de Gerencia Forestal para 551 acres de tierras forestales privadas no-industriales.

Plántulas, Vivero y Mejoramiento Arbóreo

A través de la asistencia técnica y financiera al DRNA de Puerto Rico se hacen disponibles semillas y plántulas de alta calidad de árboles genéticamente superiores a terratenientes y comunidades. Este programa ayuda a mejorar la productividad de los bosques de Puerto Rico y a proteger los recursos de suelo y agua.

Legado Forestal

El programa de Legado Forestal fomenta la protección y mejor uso de tierras forestales amenazadas por la conversión a usos no-forestales a través de la compra de servidumbres de conservación o títulos de gratificación a los terratenientes privados que así lo desean. La Evaluación de Necesidad de Puerto Rico fue finalizada. El documento

identifica las tierras críticas a proteger en Puerto Rico.

Programa de Incentivo de Gerencia

A través de este programa de costos compartidos, el DRNA de Puerto Rico provee incentivos financieros a terratenientes privados para apoyar la buena gerencia de tierras y fomentar el establecimiento de prácticas silviculturales aprobadas de multirecurso tales como la siembra de árboles, raleo, rompevientos, mejoramiento de hábitat de vida silvestre, desarrollo de veredas, protección de suelos, y otros, en tierras forestales privadas.

ASISTENCIA PROVISTA

Asistencia Técnica y Asistencia Financiera

PROGRAMA

Programas de Acción Económica

Recuperación Económica 80 porciento federal/
20 porciento local

Desarrollo Rural 50 porciento federal/50
porciento local

Conservación de Recurso y Desarrollo 80
porciento federal/20 porciento local

Conservación de Productos Forestales y
Reciclaje Asistencia técnica solamente para
madera en transportación

Asistencia técnica solamente

Recuperación Económica

El Servicio Forestal provee asistencia técnica y financiera a comunidades rurales localizadas en o cerca del Bosque Nacional del Caribe que se han tornado económicamente dependientes o desventajadas debido a decisiones de manejo de tierras públicas. Las subvenciones, en base competitiva, están diseñadas para que las comunidades preparen o implementen un plan de acción, que promueve la diversificación y revitalización a través de asociaciones.

Desarrollo Rural

El Servicio Forestal provee asistencia técnica y financiera para ayudar a fortalecer,

diversificar, y expandir las economías locales, especialmente aquellas experimentando problemas económicos persistentes o a largo plazo. Las comunidades no necesitan ser dependiente de tierras Federales para ser elegibles. Las subvenciones proveen asistencia técnica y fondos pareados para proyectos diseñados para estimular mejoras en el bienestar económico o social de ciudadanos rurales a través de los recursos naturales.

Conservación de Recurso y Desarrollo (CR&D)

El Servicio de Conservación del Recurso Natural (NRCS, sus siglas en inglés) dirige este programa para desarrollar, mejorar, y conservar los recursos naturales para mejorar el bienestar económico, social, y ambiental dentro de las dos áreas CR&D autorizadas en Puerto Rico: El Atlántico y El Caribe, y el Consejo CR&D de las Islas Vírgenes de E.U. El NRCS provee asistencia financiera al Servicio Forestal para asegurar asistencia técnica para la planificación e implementación de proyectos forestales dentro de las áreas de CR&D.

Conservación de Productos Forestales y Reciclaje (CPF&R)

A través del programa CPF&R, el Servicio Forestal provee asistencia técnica a agencias forestales del estado, productores y procesadores de productos forestales, gerentes forestales y grupos regionales, municipales y comunitarios envueltos en el reciclaje y el desarrollo económico. El enfoque es hacia los productos forestales (primarios y secundarios), productos forestales no-tradicionales, y reciclaje de productos forestales. Una publicación, "An Overview of the Forest Products of Puerto Rico" salió en este pasado año, y se está completando otra publicación titulada "Overview of the Forests Products of the U.S. Virgin Islands".

La Madera en la Transportación

A través de este programa, el Servicio Forestal está autorizado para proveer asistencia financiera y técnica en base competitiva al gobierno local para la planificación, diseño, y construcción de puentes de madera

demostrativos como una alternativa al acero y al concreto. Este programa no ha recibido apoyo local en Puerto Rico ni en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos.

PROGRAMA Protección de Salud Forestal

ASISTENCIA PROVISTA Asistencia Técnica

A través de un acuerdo cooperativo con la Universidad de Puerto Rico, el Servicio Forestal provee asistencia de muestreo y técnica en tierras cooperativas en apoyo a todos los programas de Silvicultura Estatal y Privada. Es una función de este programa el apoyar al DRNA de Puerto Rico, terratenientes, y gerentes forestales en (1) la comprensión del rol que tienen los insectos y los patógenos en la salud forestal y del ecosistema; (2) la aplicación integrada de los principios de manejo de plagas; y (3) la implementación de estrategias para la prevención y/o supresión de los resultados de actividades relacionadas a las plagas.

Asistencia Técnica del Programa de Desarrollo de Tecnología para la Protección de la Salud Forestal

A través de este programa, el Servicio Forestal se esfuerza en mejorar las capacidades para la protección de la salud forestal desarrollando tecnología nueva y mejorada a usarse en muestreo, asistencia técnica, prevención, y actividades de supresión. En Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los E.U., la cochinilla rosada es una amenaza inminente. Los árboles hospederos en riesgo para este insecto, que actualmente está subiendo por las islas caribeñas, son el majó, la maga, el mango, los cítricos, el aguacate, y muchos otros.

Fuego Cooperativo

Asistencia Técnica y Asistencia Financiera 50 porciento federal / 50 porciento local)

El Servicio Forestal coopera, participa y consulta con el Servicio de Bomberos de Puerto Rico y el Servicio de Bomberos de las Islas

Vírgenes de los E.U. en asuntos de protección de fuego en yermos no-federales y otras tierras rurales. El Servicio Forestal provee asistencia técnica y financiera a ambas agencias de supresión de incendios. Parte de este programa es financiado por el Servicio de Vivienda Rural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos con el propósito de facilitar a las comunidades rurales el mejorar las capacidades de incendios en yermos de los distritos y departamentos de incendios locales.

Propiedad Personal Federal en Exceso Asistencia Técnica

A través de la Administración General de Servicios (GSA, sus siglas en inglés), la propiedad federal en exceso, incluyendo vehículos militares y otros equipos, se hace disponible para uso del Servicio de Bomberos o para uso en distritos de incendios rurales mejorando así sus capacidades para la protección de incendios en yermos. Un seleccionador del Servicio de Bomberos localiza el equipo en la base militar Roosevelt Roads en Puerto Rico y notifica al personal del Servicio Forestal. El Servicio Forestal adquiere la propiedad de GSA y se le presta al Servicio de Bomberos para su uso o en préstamos subsiguientes a distritos de incendios rurales.

INVESTIGACIONES DE AVES A LARGO PLAZO

Wayne J. Arendt
Biólogo de Vida Silvestre

INVESTIGACIÓN ACTIVA

Sabana Seca

Para octubre del 1997, el tercer y último año de la evaluación de la diversidad, abundancia y uso de hábitat de aves residentes y migratorias en tres hábitats forestados (kárstico, *Pterocarpus* y mangle) será completado dentro de las tenencias de tierra de la Actividad de Seguridad de Sabana Seca de la Marina de Guerra de los Estados Unidos, localizada en la costa norte cerca de Toa Baja, Puerto Rico.

Los análisis preliminares sugieren que las poblaciones de aves residentes y migratorias pudieran estar declinando, debido en parte a la fragmentación de estos hábitats forestales que anteriormente eran más extensos, pero igualmente frágiles, así como también a la llegada e incremento (debido parcialmente también a la fragmentación forestal) del generalista parásito de nidos de aves, el tordo (ver el apéndice para nombres científicos).

La diversidad, abundancia y uso de hábitat de las aves

En resumen, 79 especies de aves, 57 residentes (72 por ciento) y 22 migratorias (28 por ciento) fueron encontradas en los 3 hábitats, con un promedio de 38 especies residentes (alcance = 34 a 42) y 14 especies migratorias (alcance = 9 a 20) por hábitat (tabla 1). En cuanto a las especies más comunes, hubo un promedio de 18 residentes (alcance = 16 a 20) y 5 especies migratorias (alcance = 1 a 8) por hábitat (tabla 1). En cuanto que el bosque kárstico y mangle, ambos hábitats de especies mixtas, no inesperadamente albergaban más especies de aves residentes que el monocultivo de *Pterocarpus* con unas 5 y 8 especies, respectivamente, lo realmente inesperado fue que el kárstico hospedara 5 especies migratorias

menos que el *Pterocarpus* y 11 menos que el mangle. Se cree que una disminución de insectos en el bosque kárstico es una de las causas mayores de la escasez de las especies, siendo éstas casi en su totalidad insectívoras, pero hace falta investigación adicional para confirmar la data cualitativa preliminar.

Posibles disminuciones en población de aves

A pesar de que serán necesarios más años de monitoreo, los análisis preliminares sugieren que las poblaciones de varias especies residentes y migratorias están disminuyendo dentro de los tres hábitats forestales estudiados en la Actividad de Seguridad en Sabana Seca. Aparentemente la población de aves residentes y migratorias disminuye desde octubre del 1994 hasta agosto de 1997 alcanzan desde el 55 por ciento (15 por ciento significativamente) en el karso hasta 81 por ciento (38 por ciento significativamente) en el bosque de *Pterocarpus* (fig. 1a). En el bosque kárstico, dos de las ocho especies residentes que presentan disminución (reinita mariposera y Julián Chiví) son huéspedes del tordo parasítico, una causa probablemente mayor de la disminución observada (fig. 1b). En cuanto que se conoce que el vireo está sufriendo mermas poblacionales en otras partes de Puerto Rico como consecuencia del parasitismo del tordo (Faaborg y otros 1997, Wadsworth y otros en imprenta), se necesita mucha más investigación para determinar la susceptibilidad de la reinita mariposera, endémica en tres islas, al parasitismo del tordo. Estas dos especies deben ser monitoreadas constantemente en el futuro en varios hábitats alrededor de la Isla para prescribir la investigación y programas de manejo adecuados. A pesar de que no se observó una disminución significativa en la población del ave de caza y migrante caribeño, paloma cabeciblanca, en el bosque kárstico los

datos de censo de los pasados tres años sugieren que sus números también están disminuyendo lentamente (fig. 1b). Esta especie también amerita monitoreo continuo durante los próximos años.

Para demostrar observaciones similares de disminuciones de poblaciones de aves en bosques de *Pterocarpus* y mangles, se han escogido las especies que muestran las disminuciones más pronunciadas (figs. 2 y 3). En el bosque de *Pterocarpus*, de las 16 especies experimentando las disminuciones poblacionales observadas, cuatro residentes y una migratoria, muestran reducciones significativas. De las cuatro especies residentes (cabrero, juí de Puerto Rico, pájaro bobo menor y canario de mangle) el canario es el único huésped mayor del tordo reconocido. Datos de conteo de punto y anillado están bajo análisis actualmente en un intento para descubrir los factores causativos atribuibles a la disminución de las restantes tres especies residentes. De igual manera, los factores físicos y bióticos están bajo investigación en un intento por determinar las causas de la disminución del pizpita de mangle, el migrante neoártico neotropical más abundante en el mangle, así como en el bosque de *Pterocarpus*. Sin embargo, ya que la pizpita es un migrante de Norte América, y por lo tanto, puede estar experimentando presiones poblacionales en sus tierras de crianza y a lo largo de rutas migratorias a través de su alcance, la determinación de factores potenciales que influyen en sus poblaciones en su invernación serán más difíciles.

La tenencia de bosque de manglar contadero de la Marina es mucho más extenso que su bosque más al interior y diminuto de *Pterocarpus*. Así que, sorprendentemente, y contrario a los resultados anticipados, de las 7 especies mostrando disminución significativa (de 13 en total) en el manglar (una especie, el pájaro bobo menor, no se muestra), 4 especies son migrantes (fig. 3). Como en el bosque de *Pterocarpus*, la pizpita de mangle muestra la disminución más precipitosa, seguida de cerca por la reinita pechidorada (un silvido del Nuevo Mundo). A pesar de que la reinita trepadora y

la candelita son dos migrantes comunes neoárticas-neotropicales dentro de muchos hábitats de Puerto Rico, no obstante, ellos también están mostrando disminuciones de poblaciones en la hilera del manglar del tracto norte de la Marina. Una vez más, las causas potenciales están bajo estudio. Interesantemente, las dos especies residentes mostrando disminución poblacional significativa en el bosque de mangle, canario de mangle y bien-te-veo, son ambos conocidos huéspedes importantes del tordo, probablemente un factor importante en su disminución.

INVESTIGACIÓN SUBORDINADA

St. Kitts

Como resultado de una evaluación de vida silvestre, la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos y la Fundación de Investigación de Islas, me solicitó que condujera un estudio en la península del sudeste de St. Kitts (Arendt 1985). Se me ofreció compartir autoría en el recientemente publicado "Birds of St. Kitts" (Steadman y otros 1997), que se circuló en julio.

INVESTIGACIÓN PROPUESTA

Programa de la Restauración de la Cotorra Puertorriqueña

De acuerdo con la planificación de la investigación a largo plazo para la restauración de la cotorra puertorriqueña, una especie en peligro de extinción, he escrito una propuesta para estudiar los depredadores primarios de nido, competidores, y ectoparásitos a lo largo de un gradiente elevacional desde el nivel del mar hasta sobre 1,300 m en el Bosque Experimental de Luquillo y bosques cercanos. Siguiendo el plan de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967), cuatro sitios de estudio se establecerán en bosque seco, húmedo, mojado, y enano a lo largo del transecto elevacional para incluir los diversos tipos de bosques en que la cotorra pueda expandirse eventualmente por vía natural o que tenga que ser reintroducida.

Estudios de Aves y Mamíferos

Mi investigación consistirá primordialmente de dos componentes de estudio: (1) aves y mamíferos depredadores y competidores de sitios de anidaje, principalmente el zorzal pardo, múcaro de Puerto Rico, otras aves que potencialmente anidan en cavidades, la rata negra y (2) los artrópodos; e.g.; la abeja melífera, la abeja melífera africanizada, la mosca de la especie *Philornis*.

En ambos estudios, via muestreo de microhábitat alrededor de cajas de zorzal previamente instaladas, determinará la relevancia de las características de sitio seleccionadas; e.g.; elevación, cobertura del dosel, luz solar, humedad, temperatura dentro y fuera de las cajas de anidaje, diversidad de especies de plantas, composición y fisionomía, a la fenología de anidaje del zorzal, y como estas características variadas de sitio se relacionan a la fenología de anidaje de la cotorra y otras aves forestales que anidan en cavidades. El muestreo de hábitat también incluirá una evaluación bisemanal de la floración y fructificación de las plantas comestibles preferidas del zorzal y la cotorra y de la abundancia de insectos en la vecindad inmediata de cajas de anidaje activos.

Estudios de Artrópodos

La abeja melífera –El impacto espacio-temporal del enjambrar de abejas melíferas sobre varios parámetros de reproducción de zorzales que anidan en cavidades, juntamente con la extensión potencial de la abeja melífera africanizada, serán estudiados así mismo con los efectos del ectoparasitismo de la mosca *Philornis*.

Mosca *Philornis* –La medida en que los ectoparásitos pueden potencialmente reducir el éxito reproductivo de la cotorra entre subpoblaciones geográficamente distintas que habitan diferentes tipos de bosque será evaluado indirectamente. En colaboración con un entomólogo investigador cuya especialidad es el ectoparasitismo de *Philoprnis* sp., continuaré la recolección de información sobre la distribución, abundancia, frecuencia, e

intensidad del ectoparásito en las cajas de zorzales a una escala espacio-temporal. Los datos se recolectarán de entre hábitat actual y potencial de la cotorra en cajas de anidaje de zorzal colocadas alternadamente entre sitios de borde y sitios interiores.

Una vez son identificadas las características claves del sitio de anidaje que dictan la frecuencia e intensidad del ectoparasitismo, deberán cumplirse con ciertos criterios para llegar a la estrategia general óptima. Medidas similares de estos variables físicos y ecológicos deberán llevarse a cabo en la vecindad de sitio de anidaje de la cotorra conocidos y potenciales, tanto en nidos en área natural, así como en los de aviario.

En adición a los estudios de micro-hábitat de características del sitio de anidaje que influyen sobre la frecuencia e intensidad del ectoparasitismo sobre las cotorras y otras aves forestales, se vislumbran tres estudios cooperativos secundarios, e.g.; (1) muestrear para especies de plantas con componentes naturales que actuarán como bióxidos y tóxicos para repeler las moscas adultas y sus larvas de dentro y fuera de los nidos de la cotorra (y las de otras especies) e inhibir o retardar el desarrollo larval, (2) determinar qué aspectos de las etapas de desarrollo del ectoparásito son afectadas por metabolitos secundarios en la vegetación verde identificados y preseleccionados para ser utilizados en los nidos de la cotorras y (3) identificar las señales sensoriales de comportamiento, ambientales y ecológicas que están utilizando las moscas hembras ovipositoras para encontrar sus huéspedes avícolas.

La información obtenida de esta investigación nos ayudará a tomar decisiones de manejo más significativas pertinentes a la recuperación de la cotorra amenazada con la extinción y de otras aves forestales que anidan en cavidades mitigando así el impacto de plagas de invertebrados y vertebrados, que aún en el presente, continúan afectando la ecología y el éxito reproductivo de la cotorra y otras aves forestales.

Aves Migratorias y Residentes en Plantaciones de Café en Nicaragua

Comenzando en septiembre de 1996, el Líder del Equipo de Vida Silvestre y yo comenzamos una serie de visitas de sitios de investigación a plantaciones de café dentro de la Reserva del Volcán Mombacho alrededor de 80 km al sur de Managua. Durante los próximos 2 años, estaremos estudiando los efectos de la conversión de plantaciones convencionales (inorgánicas) a plantaciones orgánicas y los efectos de las prácticas silviculturales en los tres sistemas sobre la biodiversidad de aves migratorias y residentes, así como de insectos (Arendt y Wunderle 1997). En julio de 1997 realicé un taller de 2 días de duración en Managua consistente de material de lectura, laboratorio y ejercicios de campo, con 2 semanas adicionales de seguimiento con capacitación práctica en el campo para alrededor de 15 estudiantes universitarios y biólogos profesionales nicaragüenses, algunos de los cuales desde entonces han sido empleados por nuestra contraparte COCIBOLCA, una Organización No Gubernamental, para trabajar con nosotros en el proyecto del café. A la fecha (octubre de 1997) alrededor de 100 cuadrantes de censo de conteo de puntos han sido establecidos en plantaciones convencionales, orgánicas, y de transición. Nuestra meta es de establecer 210 puntos divididos pareadamente entre los 3 tipos de plantaciones antes de finalizar el 1997. Las líneas de redes están siendo colocadas dentro del interior de cada tipo de plantación y su ecotono para comparar la diversidad y abundancia de aves entre los dos tipos de microhábitat. Al presente, se han llevado a cabo dos censos de aves usando la técnica "mist-net", con un tercer censo programado para noviembre de 1997 para muestrear la riqueza y abundancia de especies de migrantes de paso neárticos-neotropicales otoñales, así como migrantes invernantes y aves residentes en las diversas plantaciones. Se espera que el establecimiento y mantenimiento de un dosel balanceado de árboles fijadores de nitrógeno nativos e introducidos, más limitando el uso de plaguicidas y herbicidas, ayudarán a

incrementar la riqueza y abundancia de las aves migratorias y residentes, así como también como los insectos que juegan un rol importante en la salud y productividad de las plantaciones de café. La riqueza y abundancia de aves y artrópodos en las plantaciones de café son comparadas con aquella dentro de rodales de bosque natural a las mismas elevaciones dentro de las reservas. (Ver tablas y figuras, versión inglés).

LITERATURA CITADA

- Arendt, W.J. 1985. Wildlife assessment of the southeastern peninsula, St. Kitts, West Indies. Río Piedras, PR: Final report on file with: the U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, P.O. Box 25000, Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000.
- Arendt W.J.; Wunderle, J.M., Jr. 1997. Comparison of avian diversity, abundance, and habitat use in shade coffee and broadleaf forest in the Volcán Mombacho Reserve: an international cooperative study. Study Plan FS-SO-4151-2515 on file with: the U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, P.O. Box 25000, Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000.
- Faaborg, J.; Dugger, K.; Arendt, W.J.; Woodworth, B.L.; Baltz, M.E. 1997. Population declines of the Puerto Rican Vireo in Guánica Forest. *Wilson Bulletin*. 109: 195-202.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center. 206 pp.
- Steadman, D.W.; Norton, R.L.; Browning, M.R.; Arendt, W.J. 1997. Birds of St. Kitts. *Caribbean Journal of Science*. 33: 1-20.
- Woodworth, B.L.; Faaborg, J.; Arendt, W.J. [En imprenta]. Dispersal and longevity in the Puerto Rican Vireo, *Vireo latimeri*. *Journal of Field Ornithology*.

LA FORMA DE CRECIMIENTO DE ÁRBOLES DEL BOSQUE SECO

Brian K. Dunphy

Universidad de Georgia

Peter G. Murphy

Universidad del Estado de Michigan

y

Ariel E. Lugo

Instituto Internacional de Dasonomía Tropical

En la zona de vida del bosque seco del suroeste de Puerto Rico y otras islas del Caribe, los bosques que quedan a varios kilómetros de la costa están caracterizados por grandes números de árboles de pequeño diámetro y tallos múltiples. Nuestro estudio se dirigía a la pregunta si la forma de crecimiento de estos árboles era natural, o una reliquia de los disturbios extensos a los cuales han estado sujetos estos bosques por más de un siglo. El foco del estudio lo fue el Bosque Seco de Guánica, una reserva protegida por el gobierno de Puerto Rico por más de 60 años. Los estudios fueron confinados a bosque tipo caducifolio a una elevación de aproximadamente 175 m, 2 km tierra adentro en una pendiente hacia el sur de 13 a 14°.

Nueve especies de árboles dominantes y dos arbustos comunes del sotobosque fueron examinados dentro de un sitio de estudio de 1.44 ha originalmente establecido para estudios de biomasa forestal, regeneración y crecimiento arbóreo. Las 11 especies leñosas estudiadas para formas de crecimiento son responsable de aproximadamente dos terceras partes del total del valor de importancia para especies leñosas de 300 (tabla 1). Con la excepción de *Bursera simaruba*, todas las especies estudiadas eran representadas por individuos con tallos múltiples, el número de tallos incrementan conforme incrementa el diámetro de la planta a la altura de tierra (d.g.h. por sus siglas en inglés, diameter at ground height) (tabla 2) y conforme aumenta la altura del árbol (fig.1). Se hicieron observaciones de aquellas características de plantas que pudieran representar tendencia a favor o en contra de cortes u otros disturbios, tales como la presencia o ausencia de tocones y

presencia o ausencia de un tallo principal central. Los porcentajes de árboles con tallos múltiples, por especies, que retuvieron el tallo principal original se muestran en la tabla 3.

En términos generales, los resultados sugieren que la forma de crecimiento de tallos múltiples ocurre naturalmente para al menos 9 de las 11 especies. Entre la evidencia de mayor peso estaba la persistencia de tallos principales originales en 19.9 por ciento de árboles con tallos múltiples (20.7 por ciento de plántulas debajo de 3 cm de d.g.h.) que se consideró demasiado pequeño para estar presente durante el tiempo en que la tala y el pastoreo aún ocurrían en el bosque.

Tomando todas las cosas en consideración, la estructura del bosque en el sitio de estudio en el Bosque de Guánica, incluyendo la prevalencia de árboles de tallo múltiple, aparente ser natural para la región más que una manifestación de un disturbio en el pasado. Esto aumenta el valor del Bosque de Guánica, como un ecosistema que marca el hito contra el cual otros ejemplos de bosque seco con mayores disturbios pueden ser comparados. Detalles originales sobre la morfología arbórea en bosque seco y posibles factores causales pueden hallarse en Dunphy (1996).

Se hicieron aproximadamente 4 meses de trabajo de campo (en el Bosque de Guánica) en apoyo a este proyecto. Se hizo una presentación de resultados preliminares en el 1995 en la reunión anual de la Academia de Ciencias, Artes y Letras de Michigan (Dunphy y otros 1995). Se está preparando un manuscrito para Tropical Ecology. (Ver tablas y figuras, versión inglés).

LITERATURA CITADA

Dunphy, B.K. 1996. The multiple-stemmed growth form of trees in a subtropical dry forest. Michigan State University. 93 p. M.S. Thesis.

Dunphy, B.K.; Murphy, P.G.; Lugo, A.E. 1995. The architecture of multiple-stemmed trees in a subtropical dry forest. En: Program for the annual meeting of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters. [Abstracto].

GRUPO DE LABORATORIO PRINGLE

C. Pringle, J. Benstead y J. March

Instituto de Ecología, Universidad de Georgia, Athens, Georgia

MIGRACIÓN DE CAMARONES, EFECTOS DE LA ABSTRACCIÓN DE AGUA Y MITIGACIÓN

ESTRATEGIAS

La migración de camarones a lo largo de los corredores de las corrientes crea un vínculo crítico entre los ríos tropicales y sus estuarios. Las investigaciones realizadas durante el verano de 1995 proporcionaron información inicial crítica sobre: (a) los patrones espaciales y temporales del desplazamiento de camarones larvarios en dos áreas de captación del Bosque Experimental de Luquillo (BEL) - el Mameyes y el Espíritu Santo (March y otros, bajo revisión); y (b) los efectos del retiro de agua sobre el desplazamiento migratorio de camarones larvarios en el Espíritu Santo (Benstead y otros, bajo revisión). Nuestros resultados indican que tanto los desplazamientos larvarios río abajo como la migración río arriba de postlarvarios nadadores muestran fuertes patrones diarios y que la mayor parte de la actividad ocurre durante la noche (March y otros, bajo revisión). Los retiros de agua de la represa del Espíritu Santo tuvieron como resultado la mortalidad de los camarones larvarios a la deriva por arrastre a la entrada de agua. Durante un periodo de estudio de 70 días en el año 1995, el 59 por ciento de las larvas sufrieron mortalidad directa. Durante descarga baja, hubo un 100 por ciento de mortalidad. Un modelo (utilizando un récord de descarga de 30 años) estimó que la mortalidad diaria promedio a largo plazo debido a arrastre era 52 por ciento, con una posible reducción de 17 a 28 por ciento si la abstracción de agua era suspendida durante las horas de la noche donde el desplazamiento llega a su punto máximo (Benstead y otros, bajo revisión). Por lo tanto, nuestra recomendación para lograr la mitigación es que se incluyan interrupciones de

3 a 5 horas en la abstracción de agua durante los periodos nocturnos de mayor desplazamiento larvario, así como mantener escalas funcionales de peces y mantener el flujo sobre las represas a un mínimo (Benstead y otros, bajo revisión).

Los objetivos de una investigación más reciente, llevada a cabo durante el verano de 1996, eran: (a) cuantificar la migración río arriba de camarones post-larvarios de agua dulce en los ríos mencionados anteriormente; (b) medir el caudal de entrada de larvas de primera etapa durante el desplazamiento migratorio hacia los estuarios; y (c) proveer la primera información disponible acerca del nivel de supervivencia de larvas bajo condiciones normales al examinar la distribución y los espectros tamaño-clase de camarones larvarios en desarrollo dentro de los estuarios. El Mameyes y el Espíritu Santo también fueron el foco de esta investigación reciente. El Mameyes es el último río sin represa en el BEL, mientras que el Espíritu Santo tiene una represa de baja caída y un tubo de admisión de agua localizados en su cause principal a unos 4 km de la costa y 5m sobre el nivel del mar. Tomamos muestras del desplazamiento migratorio de camarones larvarios utilizando instrumentos de muestreo tipo Miller. Los mismos fueron colocados en el límite superior de la marea en el Mameyes y aproximadamente a 750 m de la represa, río abajo, en el Espíritu Santo (18 noches, 3 muestras por noche). En dos ocasiones se tomaron muestras para las etapas larvarias en el estuario del Mameyes; el estuario del Espíritu Santo fue muestreado una sola vez. Se seleccionaron siete estaciones en cada estuario, localizadas entre el límite superior de la marea y el nacimiento del río. En cada estación tomamos remolque de plancton vertical a largo de toda la columna de agua en el margen del río (2-3 metros de la ribera) y en el centro del canal. La densidad de larvas fue

expresada como larvas por cada metro cúbico de agua muestreada. Tomamos muestras de la migración río arriba de larvas metamorfoseadas mediante un nuevo método de atrapado durante 30 noches en cada río (4-6 trampas por río). Las trampas fueron fijadas con estacas en áreas con corrientes de poca profundidad cerca de la orilla y en el límite de la marea en el Mameyes y sobre la represa en el Espíritu Santo. La cantidad de post-larvarios fue expresada por el número promedio atrapado por trampa.

La distribución y densidad de camarones larvarios en ambos estuarios variaba grandemente entre las fechas y estaciones de muestreo. La densidad larvaria en el estuario del Espíritu Santo era mayor en el límite superior de la marea y disminuía cerca del nacimiento del río. La densidad de larvas en el estuario del Mameyes difería entre las fechas de muestreo y no mostraba un patrón claro de distribución. Las densidades de larvas generalmente eran menores en el hábitat al margen que en el hábitat del medio del canal. La mayoría de los camarones larvarios (79 a 98 por ciento) caían bajo la categoría más pequeña de tamaño (<1mm - largo del carapacho). Se encontraron tres clases de tamaño en el estuario del Espíritu Santo. Durante la primera fecha de muestreo en el Mameyes, habían dos clases de tamaño presentes y cinco durante el segundo muestreo.

La cantidad de post-larvarios migratorios era mucho mayor en el Mameyes que en el Espíritu Santo. La abundancia post-larvaria relativa de los tres géneros difería entre los dos ríos. El tipo de post-larvario principalmente atrapado en el Espíritu Santo fue *Atya* spp., seguido por *Xiphocaris* y *Macrobrachium* spp. En contraste, los post-larvarios atrapados en el Mameyes eran predominantemente *Macrobrachium* spp. y *Xiphocaris*, mientras que *Atya* spp. se veía pocas veces. La cantidad de *Macrobrachium* spp. y *Xiphocaris* migratorios era mucho mayor en el Mameyes que en el Espíritu Santo; el Espíritu Santo solo excedió al Mameyes en la abundancia de *Atya*.

Este estudio es el primero que ha cuantificado las tasas relativas de migración río arriba de los camarones post-larvarios de agua dulce. Aunque es un poco difícil hacer un estimado del número total de post-larvarios migratorios basado en la técnica de atrapado que se utilizó, las comparaciones entre los dos ríos mostraron diferencias evidentes en la magnitud de la migración río arriba de post-larvarios. La cantidad de post-larvarios migratorios fue mucho mayor en el Mameyes, el cual fluye libremente, que en el Espíritu Santo, el cual tiene una represa. Esto nos indica que la combinación de los efectos directos del arrastre de larvas e indirectos (reducciones en la entrada de agua potable) de la abstracción de agua podrían estar evitando que los post-larvarios en el Espíritu Santo se conviertan en poblaciones adultas.

EFFECTOS DE LOS PECES Y CAMARONES SOBRE LA ESTRUCTURA COMUNITARIA Y LOS PROCESOS DEL ECOSISTEMA

Los ríos tropicales generalmente se caracterizan por su abundancia de peces y camarones omnívoros. Sin embargo, no se sabe mucho acerca de los roles relativos de estos macroconsumidores en la estructuración de las comunidades de los ríos. Algunos estudios llevados a cabo durante el verano de 1994 examinaron la hipótesis de que las diferencias en los ensamblajes macrobióticos pueden llevar a diferencias en el procesamiento de materia orgánica en los ríos del BEL (Pringle y otros, bajo revisión). Los resultados mostraron una fuerte relación entre las comunidades de los ríos y los procesos del ecosistema: las diferencias en la cantidad y calidad de los recursos de materia orgánica béntica fina fueron determinadas por la naturaleza del ensamblaje macrobiótico. Los ríos dominados por densidades altas de camarones se caracterizaban por tener niveles bajos de materia orgánica béntica. Más aún, los patrones en la distribución de comunidades de camarones de biomasa elevada reflejaban patrones de paisaje en el ambiente deposicional béntico y la cosecha en pie de algas (Pringle 1996) entre los ríos.

También estamos llevando a cabo estudios sobre los efectos de peces y camarones sobre la estructura de las comunidades bénticas a lo largo del continuo del río. Los ríos que corren por el BEL generalmente están dominados por camarones en aguas de cabecera localizadas en gradientes elevados y se ven tanto camarones como peces en sectores más bajos. Sin embargo, se conoce poco sobre cómo estos patrones de zonificación afectan los procesos del ecosistema, tales como la descomposición y la producción primaria. Esta investigación se está llevando a cabo a lo largo del Espíritu Santo y es la base para el proyecto de disertación de James March, con el apoyo del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los E.U. y una beca para el mejoramiento de disertaciones de NSF. March intenta contestar las siguientes preguntas: (1) ¿Son afectados significativamente los patrones de acumulación de sedimento ambiente béntico deposicional debido a los peces y camarones omnívoros? (2) ¿Ocurren cascadas tróficas cuando los peces y camarones omnívoros son excluidos? (3) ¿Cómo varían los efectos de los peces y camarones a lo largo del continuo del río? Esta parte de nuestra investigación está brindando información acerca del papel que juegan los omnívoros en la estructuración de las comunidades en los ríos tropicales y promete mejorar nuestra habilidad para predecir cómo los ecosistemas de los ríos responden a los disturbios.

Durante el verano de 1996, March utilizó electricidad para manipular el acceso de peces y camarones a paquetes de hojas de *Cecropia scheberiana* en tres puntos a lo largo del río Espíritu Santo (March y otros 1997). El diseño experimental consistía de dos tratamientos (acceso de peces/camarones y exclusión de peces/camarones), con cinco repeticiones por tratamiento, en las tres localizaciones a lo largo del continuo (10, 90 y 300 m.a.s.l.). El porcentaje de peso restante de los paquetes de hojas fue medido 7 veces durante el experimento de 30 días. En la localización de elevación alta, el grado de descomposición de las hojas fue mucho mayor ($p = 0.019$) en presencia de densidades naturales de camarones (promedio

$k = 0.067$ al día⁻¹) que en ausencia de ellas (promedio $k = 0.036$ al día⁻¹). Por contraste, tanto en la localización de mediana elevación como en la de baja elevación, la presencia de macrobiota no tuvo ningún efecto significativo sobre el grado de descomposición de hojas. Los resultados indican que las comunidades de camarones en las aguas de cabecera, donde la materia de hojas introducidas domina los insumos de energía, juegan un papel importante en la descomposición de hojas.

Durante el verano de 1997, March utilizó la técnica de exclusión eléctrica para examinar los efectos de peces y camarones sobre cosecha en pie de algas y la composición de comunidades, insectos y la acumulación de sedimento a lo largo del continuo del Espíritu Santo.

PARADIGMAS DE LOS RÍOS, CONSERVACIÓN Y DESARROLLO DE RECURSOS DE AGUA POTABLE

La investigación descrita anteriormente ha contribuido a nuestro entendimiento conceptual del funcionamiento los ríos al obligarnos a estudiar cómo los disturbios son transmitidos río arriba (Pringle 1997a). Mientras que el Concepto del Continuo del Río y otros paradigmas de los ríos enfatizan que las comunidades río abajo son una función de los procesos ocurridos río arriba, es evidente que las alteraciones en las partes bajas de los ríos pueden tener efecto sobre las corrientes río arriba, desde los genes hasta los ecosistemas (Pringle 1997a). ¿Hasta qué punto son la biota y los procesos ecológicos asociados de las corrientes en elevaciones altas del BEL el resultado del retiro de agua (y pérdidas en el reclutamiento de peces y/o camarones) en áreas de poca elevación? (figura 1).

También hemos colocado nuestra investigación en el contexto más amplio de la conservación (Pringle 1997 b,c). Discutimos nuestros hallazgos dentro del contexto del desarrollo de recursos de agua potable en Latinoamérica y el Caribe en dos capítulos (Pringle y Scatena, bajo publicación) de un nuevo libro sobre ecosistemas tropicales manejados. El conflicto entre el uso de agua por

REFERENCIAS

- Benstead, J.P.; March, J.C.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. Effects of water abstraction and damming on migratory tropical stream biota: simulation modeling and mitigation strategies. Manuscrito en preparación.
- March, J.G.; Benstead, J.P.; Pringle, C.M.; Scatena, F.N. Migratory drift of freshwater shrimps in two tropical streams, Puerto Rico. Manuscrito en preparación.
- March, J.G.; Benstead, J.P.; Pringle, C.M.; Ruebel, M. 1997. Effects of fishes and shrimps on leaf breakdown along a tropical river continuum, Puerto Rico. [Abstracto]. North American Benthological Society Meetings, San Marcos, Texas.
- Pringle, C.M. 1996. Atyid shrimps (Decapoda: Atyidae) influence the spatial heterogeneity of algal communities over different scales in tropical montane streams, Puerto Rico. *Freshwater Biology*. 35: 125-140.
- Pringle, C.M. 1997a. Exploring how disturbance is transmitted upstream: going against the flow. *Journal of the North American Benthological Society*. 16: 425-438.
- Pringle, C.M. 1997b. Expanding scientific research programs to address conservation challenges in freshwater ecosystems. En: Pickett, S.T.A.; Ostfeld, R.S.; Shachak, M.; Likens, G.E., eds. *Enhancing the ecological basis of conservation: heterogeneity, ecosystem function and biodiversity*. New York: Chapman and Hall: 305-319.
- Pringle, C.M. 1997c. Fragmentation in stream ecosystems. En: Meffe, G.; Carroll, R., eds. *Principles of Conservation Biology*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc., 289-290.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. [En imprenta]. Factors affecting aquatic ecosystem deterioration in Latin America and the Caribbean. En: Hatch, U.; Swisher, M.E., eds. *Tropical managed ecosystems: New perspectives on sustainability*. London: Oxford University Press.
- Pringle, C.M.; Scatena, F.N. [En imprenta]. Freshwater resource development: Case studies from Puerto Rico and Costa Rica. En: Hatch, U.; Swisher, M.E., eds. *Tropical managed ecosystems: New perspectives on sustainability*. London: Oxford University Press.
- Pringle, C.M.; Hemphill, N.H.; McDowell, W.; Bednarek, A.; March, J. Linking communities and ecosystems: Effects of macrobiota on benthic organic matter in tropical streams. Manuscrito en preparación.

CONTROLES QUÍMICOS Y FÍSICOS SOBRE FLUJOS DE ÓXIDO NITROSO EN EL TRANCURSO DE EVENTOS DE TORMENTAS EN LA CUENCA DEL RÍO ICACOS

Claire P. McSwiney
Universidad de New Hampshire, Durham, NH

Los flujos de gases traza varían temporal y espacialmente. Para lograr hacer mejores predicciones con modelos globales, necesitamos cuantificar esta variabilidad y determinar los mecanismos fundamentales. Para dirigirnos a los componentes de variabilidad espaciales y temporales a largo plazo, se han estudiado los flujos de óxido nitroso a lo largo de tres cadenas en la cuenca del Río Icacos: en cerro, en la zona pendiente-cerro, en pendiente, en la zona pendiente-riberaña, ribereña y ambientes de riberas. En dos de estos sitios, la zona pendiente-riberaña y la zona ribereña, se obtuvieron los flujos más altos, y en la tercera, estos ambientes tuvieron los flujos más bajos.

Se discutirán en este informe los estudios de variabilidad temporal a corto plazo a través del monitoreo de cambios en los flujos superficiales en el curso de eventos de tormenta. El enfoque de este estudio es, por varias razones, sobre la zona pendiente-riberaña. Los flujos de óxido nitroso fueron más altos en este ambiente durante el muestreo de flujo superficial. En otros estudios, la zona pendiente-riberaña ha mostrado ser el punto clave en el paisaje para la remoción de nitrógeno antes del río. Esperamos estímulo de flujos superficiales de óxido nitroso durante tormentas debido a una intensificación de condiciones ambientales para la dinitrificación, vía la transferencia de nitrato y carbono a una zona de producción y anaerobiosis incrementada conforme los suelos se saturan.

Se colocaron al azar seis cámaras de flujo superficial en una cuadrícula en la zona pendiente-riberaña de uno de los tres sitios de muestreo superficial. Los flujos de óxido nitroso se midieron con una técnica de cámara estática tan frecuentes como era posible durante eventos de tormenta. Se instalaron tres juegos de sondas para suelo-aire en este ambiente. Las

profundidades se escogieron en base a al status redox, determinado por diferencias en color vistas al momento de la instalación. Las sondas suelo-aire fueron muestreadas luego de cada determinación de flujo. Se instalaron lisímetros de tensión a diferentes profundidades para muestrear profundidades similares a aquellas muestreadas por las sondas suelo-aire. Los lisímetros se muestrean con menos frecuencia que las cámaras o que las sondas debido al tiempo requerido para generar muestra suficiente para los análisis. La profundidad a la tabla de agua fue medida a mano antes y después de cada medida de flujo. Se estudiaron seis tormentas en el transcurso del otoño de 1996.

Los flujos en las seis cámaras variaron durante cada tormenta, pero no sincronizadamente (fig. 1). Una de las cámaras tuvo flujos consistentemente más altos que las otras cinco. Las concentraciones suelo-aire de óxido nitroso no cambió en el transcurso de ninguna de las tormentas estudiadas a ninguna profundidad (fig. 2). Las concentraciones de nitratos no cambiaron en el transcurso de ninguna de las tormentas; sin embargo, aparenta haber una disminución de concentración a lo largo del período estudiado (fig. 3). Los niveles de la tabla de agua aparentan seguir el patrón general visto en el récord de precipitación a lo largo del transcurso del estudio (figura 4).

Hay varias posibles explicaciones a la falta de respuesta en los flujos de óxido nitroso de superficie a eventos de tormenta. Las seis cámaras de flujo superficial pudieron estar localizadas a través de diferentes trayectorias de flujo, que resultaron en respuestas que ocurrieron en diferentes tiempos. Otra posibilidad es que las concentraciones de substrato no cambiaron durante las tormentas

tal como se puede ver en la data de nitrato. El nivel de la tabla de agua pudo haber estado alta a lo largo del estudio de tormentas, resultando de una de dos situaciones. Las condiciones del suelo pudieran haber estado tan anaeróbicas que el producto principal de la dinitrificación lo fue el dinitrógeno y no el óxido nitroso. En la segunda situación, los substratos y las zonas de producción pudieran haber estado

segregadas espacialmente tal que el agua alta en nitratos y carbono fluyeran en un camino que pasó de largo la zona en que existía la población microbial denitrificante. Una última explicación pudiera ser que el óxido nitroso fue producido en el suelo; sin embargo, el agua del suelo obstaculizó la difusión hacia arriba hasta la superficie del suelo. (Ver figuras, versión inglés).

DINÁMICAS DE REGENERACIÓN DE PLANTACIONES DE CAOBA SEGUIDOS DE DISTURBIOS EN UN BOSQUE HÚMEDO SUBTROPICAL, PUERTO RICO

Hsiang-hua Wang
Instituto de Investigación Forestal, Taipei, Taiwan

Como parte de una beca de investigación de un año en el Instituto de Dasonomía Tropical y la Universidad de Puerto Rico, se llevó a cabo una investigación para determinar las dinámicas de regeneración de la caoba en plantaciones maduras dentro del Bosque Experimental de Luquillo en Puerto Rico. Las investigaciones recientes de la ecología de la caoba (género *Swietenia*) en bosques naturales en Belize (Lamb 1966), México (Snook 1993), Brasil (Verissimo 1995) y Bolivia (Gullison y Hubell 1992, Gullison y otros 1996) indican que los disturbios periódicos catastróficos pueden promover la regeneración de la caoba. Sin embargo, las aberturas causadas por métodos de cosecha selectivos en la caoba comercial han sido deficientes en promover la regeneración de la caoba en varios bosques (Stevenson 1927, Lamb 1966, Johnson y Chaffey 1973, Snook 1993), y la magnitud y frecuencia de los disturbios necesarios para mantener la caoba en áreas de cosecha son desconocidas. Mas aún, se desconoce también cómo desarrollar planes sustentables de cosecha. Desafortunadamente, se conoce que ya que la densidad de la caoba madura portadora de semillas es usualmente baja (Lamb 1966, Verissimo 1995, Snook 1995, Gullison 1996) y que puede tomar más de 100 años para un árbol obtener tamaño comercial (Gullison 1996) las compañías explotadoras de caoba no son estimuladas para operar de manera sostenible.

La meta de este estudio es determinar las influencias de disturbios sobre la regeneración de la caoba en plantaciones de caoba maduras. La hipótesis central de este estudio es que la influencia de disturbio en la regeneración de la caoba puede ser determinada a través de la investigación y monitoreo de la estructura poblacional en plantaciones similares que han recibido grados diferentes de disturbio. Además, el estudio evaluará también el uso de

plantaciones pequeñas como fuentes de regeneración que pueden ser usadas para sostener el rendimiento y genética de la caoba.

Este estudio se lleva a cabo en tres plantaciones de caoba en el Bosque Experimental de Luquillo. Cada uno de estos sitios tienen precipitación, topografía y suelos similares. Sin embargo, hace 7 años sufrieron disturbios por el huracán Hugo, pero con diferentes niveles de intensidad. En cada plantación, se establecieron tres transectos de 50m x 4m. Todos los árboles o plántulas ≥ 2.5 cm de d.a.p. y todas las plántulas de caoba ≥ 50 cm de altura fueron rotuladas e identificadas por especie siguiendo la nomenclatura de Liogier y Martorell (1982). Actualmente se llevan a cabo medidas mensuales de la dinámica, fenología y lluvia de semillas de las plántulas.

El análisis preliminar de los datos indican lo siguiente: (1) la caoba se regenera bien en las plantaciones que fueron dañadas levemente por el huracán del 1989 y pobremente en áreas que fueron muy dañadas (tabla 1); (2) la densidad de las plántulas y árboles juveniles de caoba en nueve transectos también tiene una correlación negativa con la densidad de *Cecropia peltata*, una especie de sucesión temprana (figura 1). (Ver tabla y figura, versión inglés).

LITERATURA CITADA

- Johnson M.S.; Chaffey, D.F. 1973. An inventory of the Chiquibel Forest Reserve, Belize. Land Resources Study No. 14, Foreign and Commonwealth Office, Overseas Development Administration, Land Resources Division, UK, 87 pp.
- Lamb, F.B. 1966. Mahogany in Tropical America: It's ecology and management. Ann Arbor, University of Michigan Press, 220 pp.

Liogier, H.A.; Martorell, L.F. 1982. Flora of Puerto Rico and Adjacent islands: A systematic synopsis. Editorial de la Universidad de Puerto Rico. Río Piedras, 42 pp.

Snook, L.K. 1996. catastrophic disturbance, logging and the ecology of mahogany (*Swietenia macrophylla* King): grounds for listing a major tropical timber species in

CITES. Botanical Journal of the Linnean Society, 122: 35-46.

Verissimo, A.; Barreto, P.; Tarifa, R.; Uhl, C. Extraction of a high-value natural resource from Amazonia: the case of mahogany. Forest Ecology and Management. 72: 39-60.

EL ESTADO ECOLÓGICO DE FRAGMENTOS DE BOSQUE TROPICAL SECO

Ian Ramjohn, Peter G. Murphy, Thomas M. Burton
Universidad Estado de Michigan

y
Ariel E. Lugo
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical

La destrucción o degradación global de los bosques pluviales tropicales es uno de los problemas ambientales más severos de este siglo. Sin embargo, la crisis ecológica que enfrentan los bosques estacionalmente secos de los trópicos son igualmente, si no más, serios. Los bosques tropicales ocurrían a través de regiones que hoy están entre las más pobladas del mundo tropical. Debido a que tienden a ser asociados con suelos y regímenes de clima que son favorables para ganado vacuno y para la agricultura, muy pocos bosques secos sobreviven fuera de algunas pequeñas extensiones de terreno.

En este estudio estamos investigando la flora y la estructura forestal de aproximadamente 40 fragmentos de bosques en la zona de vida de bosque seco al suroeste de Puerto Rico. Los fragmentos van desde parches pequeños y aislados, con menos de 0.5 ha de área, hasta tractos más grandes muy cerca de, o contiguo con, otras áreas forestales. Otros factores que varían entre fragmentos son aspecto, pendiente, suelo, edad e historial de disturbios.

A la fecha, se han colectado sobre 300 especies de plantas de los fragmentos aunque no todas han sido identificadas hasta ahora. Las curvas de especie-área para los fragmentos tienden a nivelarse con un tamaño de muestra debajo de 300 m² en muchos sitios (e.g., figs. 1 y 2), sin embargo, en otros, generalmente los fragmentos más grandes, se requieren muestras más grandes para una evaluación preciso de la diversidad florística (e.g., figs. 3 y 4). Estamos aún en el proceso de determinar el área del umbral crítico para diferentes tipos de fragmentos, debajo del cual un complemento completo de especies no puede ser mantenido.

La proporción de especies exóticas relativa a las nativas parece incrementar en los fragmentos pequeños con más disturbios, aunque el análisis de esta tendencia aún se está llevando a cabo. Eventualmente, para ayudar en la evaluación del estado ecológico de la composición de la vegetación y la estructura forestal (e.g., número de tallos, área basal, y altura arbórea), los varios tipos de fragmentos serán comparados con el Bosque de Guánica, al cual se le considera un ejemplo de composición y estructura de bosque seco natural.

El examen preliminar de las tendencias de riqueza de especies a través de fragmentos ha demostrado una buena relación entre estos datos y una regresión lineal simple cuando se grafican datos transformados a escala log, ambos para especies leñosas, que tienden a excederse de 1 cm in diámetro a la altura de pecho ($r^2 = 0.695$), y para composición total de especies de plantas ($r^2 = 0.728$) (figs. 5 y 6).

Esperamos que nuestro análisis de la diversidad de plantas y patrones de estructura forestal relativo a tamaño de fragmento y otras variables eventualmente provean un mejor entendimiento del balance delicado que existe entre el uso intenso de tierras y la supervivencia del bosque seco. Las comparaciones con el Bosque de Guánica demostraran la efectividad con que los fragmentos de bosque seco son capaces de servir de refugio para especies de plantas nativas y hasta qué medida la estructura forestal de los fragmentos representa condiciones naturales.

A la fecha, se han pasado 9 meses en el lugar de trabajo, en el suroeste de Puerto Rico. El análisis de datos está en progreso. El autor

principal, Ian Ramjohn, realizó una presentación de hallazgos preliminares en la reunión anual del 1997 de la "Michigan Academy of Science, Arts, and Letters" (Ramjohn y otros 1997) y dio una charla sobre el proyecto en el Instituto de Dasonomía Tropical en julio de 1997. Se han planificado presentaciones adicionales para el 1998 según proceda el análisis de los datos. (Ver figuras, versión inglés).

LITERATURA CITADA

Ramjohn, I.; Murphy, P.G; Burton, T.M.; Stanley, K.E.; Lugo, A.E. 1997. The ecological role of residual forest fragments in the dry tropics. En: [Abstracto]. Program for the which meeting annual meeting of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters.

PROCESOS HIDROLÓGICOS Y MODELAMIENTO EN EL MARCO DE UNA ISLA TROPICAL

*J. Schellekens
Vrije Universiteit, Amsterdam*

Como parte de un esfuerzo colaborativo entre Vrije Universiteit, Amsterdam y el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, Río Piedras, se estudió la hidrología de la cuenca forestada del Río Mameyes (17 km²). Las cuencas experimentales de Bisley son parte de la cuenca experimental del Río Mameyes.

Se están completando partes de la investigación y se publicarán para fines de año artículos concernientes al balance de agua y la generación de aflujos en la cuenca de Bisley. Hallazgos recientes muestran que la evapotranspiración en el bosque de tabonuco de la cuenca de Bisley es alta de acuerdo a los estándares para el trópico (casi 3,000 mm por año extrapolado de un estudio de 3 meses de duración) debido principalmente a las altas pérdidas de interceptación (43 por ciento del grueso de la precipitación). El flujo causado por tormentas en la cuenca de Bisley es generado de muchas maneras. El flujo subsuperficial a través de cañerías o macroporos es responsable por gran parte del flujo rápido. El flujo de retorno y la precipitación sobre áreas saturadas genera otra parte, empero más pequeña. No se halló evidencia para el flujo por vía terrestre Hortoniano. Otros estudios sobre las vías de flujo en áreas de captación de aguas en bosques tropicales revelan que la mayor fuente de flujo es cerca de las vías de flujo superficiales. Las cuencas de Bisley son un tanto diferentes. Los suelos son más

profundos y el flujo rápido, casi superficial, ocurre en los primeros 60 cm en vez de los primeros 20 cm aproximados como se hallan usualmente.

Los estudios presentes, basados en procesos, serán completados en una etapa tardía con un ejercicio de modelamiento usando los modelos Vamps y TOPOG. El Vamps es un modelo unidimensional especialmente diseñado y desarrollado para la aplicación a parcelas en bosques tropicales.¹ El TOPOG es un modelo distribuido de base física desarrollado por el "Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization de Australia". Este modelo ha sido utilizado con éxito en una buena porción de estudios de áreas de captación forestada. Será la primera vez que se aplique este modelo a una área tan altamente disecada en una isla tropical. Partes de esta investigación estudiará las diferencias entre el modelamiento agrupado vs. el distribuido, así como los problemas de escala cuando se aplica el modelo a todas las cuencas del Río Mameyes.

¹Se ha establecido una página WWW para el modelo Vamps que incluye información sobre el modelo, incluyendo un manual completo. La última versión debe estar disponible para hacer "downloading". Se encuentra la misma en: <http://flow.geo.vu.nl/vamps/vamps.html>.

PÉRDIDA DE NUTRIENTES POR VÍAS DE FLUJO HIDROLÓGICAS A LO LARGO DE UN GRADIENTE DE TEXTURA DEL SUELO EN EL BOSQUE NACIONAL TAPAJÓS, CUENCA DEL AMAZONAS, BRASIL

J.C. Neff y P.M. Vitousek
Universidad de Stanford
Stanford, California, CA 94305-5020

La regulación de la pérdida de nutrientes en bosques pluviales tropicales intactos y, específicamente, los mecanismos que resultan en la producción, retención y pérdidas de carbono orgánico disuelto así como de fósforo son los temas de este proyecto de investigación. Hemos establecido dos lugares de investigación en áreas de bosque primario que se usarán de lugares de referencia de línea de base para, las cosechas selectivas de maderas que se planifican en el Tapajós. Los dos lugares primarios están localizados en suelos de contacto alto arenoso y alto arcilloso que son representativos de la variabilidad de textura en la región del Tapajós.

En cada lugar forestal durante abril y septiembre de 1997, instalamos una serie de lisímetros de tensión y de cero tensión a dos profundidades en cada una de nueve parcelas, en cada lugar. En cuatro parcelas en cada lugar co-localizamos conjuntos verticales de sondas de reflectometría de dominio de tiempo (TDR, por sus siglas en inglés, domain reflectometry) a cuatro profundidades en cada parcela. En abril y septiembre de 1997, recolectamos muestras de los lisímetros y ejecutamos una serie de análisis químicos de los mismos en la Universidad de Stanford. Los resultados indican que la lixiviación de N orgánico disuelto es un componente significativo de pérdidas de N a nivel de ecosistema. Las concentraciones de C orgánico disuelto también son elevadas, y las concentraciones de P orgánico disuelto son bajas. Dadas las concentraciones de P en este lugar, es probable que sea un vector importante de pérdida. Las diferencias de textura entre los dos lugares aparenta llevar a marcadas diferencias en concentraciones orgánicas disueltas de elementos.

Mientras que las concentraciones de materia orgánica disuelta (DOM, por sus siglas en inglés, Dissolved Organic Matter) proveniente de la escorrentía subterránea es similar en ambos lugares, las concentraciones DOM son reducidas significativamente en tanto el agua

se mueve a través del suelo en las arcillas y permanece elevado a profundidad en las arenas. Este patrón puede explicar parcialmente los cúmulos más grandes de carbono en suelos superficiales en las arcillas que en las arenas. Interesantemente, los experimentos de lixiviación hechos en laboratorio, de suelos arenosos y arcillosos de Tapajós, muestran producción de DOM a tasas mucho más bajas en los arenosos que en los arcillosos, lo que sugiere que el insumo de DOM de la escorrentía subterránea o de la lixiviación de hojarasca más que la producción de DOM dentro del suelo es responsable por las concentraciones elevadas DOM en lisímetros de superficie en suelos arenosos en Tapajós.

Obtuvimos apoyo financiero adicional para esta investigación del "National Science Foundation" (EUA) los cuales serán usados para extender estas medidas hasta 1998. En el 1998 llevaremos a cabo medidas rutinarias de química de lixiviación y características de agua en suelos en el Tapajós. Durante este tiempo, los lisímetros serán muestreados dos veces en semana y se mantendrán medidas TDR a cada hora para humedad de suelo. Desde junio hasta septiembre de 1997, muestrearemos los lisímetros mensualmente y el TDR periódicamente para así poder estimar los presupuestos anuales para la lixiviación de elementos de estos dos tipos de bosque. Anticipamos publicar esta data temprano en el 1999.

La investigación realizada a través de esta subvención también ha contribuido a completar un artículo por Silver, Neff, Veldkamp, McGrody y Keller describiendo las tendencias de elementos en materia orgánica del suelo (SOM, por sus siglas en inglés, Soil Organic Matter), $\delta^{15}\text{N}$, biomasa de raíces, y otros factores en el bosque Tapajós. En el 1998 completaremos el objetivo propuesto de obtener presupuestos anuales de pérdidas de elementos hidrológicos de los dos lugares en el bosque Tapajós, y comenzaremos la instrumentación de áreas designadas para cosechas selectivas.

EFFECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS EN LA COMPOSICIÓN Y SUCESIÓN -DE UN BOSQUE NUBLADO SUBTROPICAL EN EL BOSQUE EXPERIMENTAL DE LUQUILLO, PUERTO RICO

Lydia P. Olander

Departamento de Ciencias Biológicas

Universidad de Stanford, Stanford, CA 94305-5020

La vegetación, suelo y micro-clima de rellenado para carreteras de 6 meses de edad, rellenado 35 años de edad, y de bosque maderero con y sin sotobosques monocotiledóneos fueron comparados en los bosques nublados subtropicales (TMCF) en el Bosque Experimental de Luquillo (BEL) en Puerto Rico (Olander y otros 1997). Los rellenados recientes tenían niveles de luz, temperaturas de suelo y densidad aparente del suelo más altos, así como reservorios mayores de nutrientes de suelos intercambiables, concentraciones de oxígeno de suelo mayores, pero humedad del suelo, materia orgánica del suelo, y N total de suelo menores que en el bosque maduro. En los rellenos de 35 años de edad, la densidad aparente del suelo, pH del suelo y la concentración de varios nutrientes eran estadísticamente similares al bosque maduro, en tanto que la humedad del suelo, tamaño de los reservorios eran intercambiables, y tasas de mineralización de N eran diferentes. La biomasa total del relleno de 6 meses de edad era aproximadamente 2 mg/ha y dominado por una variedad de especies monocotiledóneas y herbáceas. Las áreas de relleno de 35 años de edad tenían 10.5 mg/ha de biomasa sobre tierra, 77 por ciento del cual era no leñosa. La densidad de plántulas, densidad arbórea, y biomasa

arbórea total fueron 12 por ciento y 2 por ciento de lugares en bosque maduro, respectivamente, y estas áreas tenían las tasas más bajas de acumulación de biomasa conocidas para el BEL. En áreas que no fueron perturbadas directamente durante construcción, los caminos han tenido poco efecto sobre la composición de la vegetación más allá de la zona entre 5 a 10 m inmediatamente adyacente al pavimento. En áreas donde el sustrato fue perturbado durante la construcción, puede tomar de 200 a 300 años para que la biomasa pueda alcanzar los niveles de bosque maduro. A pesar de que los monocotiledóneos, uno de los cuales había sido sembrada a lo largo del camino hacía 35 años, eran copiosos a lo largo de las orillas del camino perturbado, generalmente estaban ausentes del bosque maduro y solamente eran abundantes en hábitats de origen humano.

LITERATURA CITADA

Olander, L.P.; Scatena, F.N.; Silver, W.L. Effects of road construction on the composition and succession of a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. Manuscrito en progreso.

IMPACTO HIDROMETEOROLÓGICO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA COBERTURA DE TERRENOS A MESO-ESCALA BAJO CONDICIONES MARÍTIMAS TROPICALES

Michiel K. Van der Molen y Hans F. Vugts
Departamento de Meteorología, Facultad de Ciencias Terrestres
Vrije Universiteit, Amsterdam

Con el fin de estudiar el impacto hidrometeorológico de la transformación de bosques de tierras bajas a tierras para agricultura y áreas urbanas, se colocó equipo meteorológico en diferentes áreas durante los meses de abril y mayo de 1997. Dos de las áreas de estudio están ubicadas en Sabana Seca y una en el bosque El Yunque. Para comenzar, se ofrecerá una breve descripción de las medidas de las áreas de estudio.

Áreas de Estudio en Sabana Seca

Se ha levantado una torre de 26 metros a lo largo de una franja de bosque virgen *Pterocarpus*, con una altura del dosel de aproximadamente 13 metros. El balance de la energía de radiación y sus componentes son medidos por encima del dosel. La velocidad de los vientos, la temperatura y la humedad relativa con medidas en siete niveles (dos de los cuales están dentro del dosel). El gradiente medio de estas cantidades es necesario para determinar los flujos de turbulencia del calor y la humedad mediante el método conocido como método de perfil. Aparte de esto, las medidas de la velocidad horizontal y vertical de los vientos, la temperatura, humedad y concentración de bióxido de carbono se hacen a razón de 1.6 Hz, lo que permite una medida directa de los flujos de turbulencia. Este método se conoce como el método de correlación de flujo circular. También se mide la dirección del viento, la presión atmosférica, la precipitación, la temperatura del suelo (agua), la temperatura del tallo de los árboles y el flujo de savia.

La segunda área de estudio está localizada en un pastizal cercano y el equipo utilizado es prácticamente idéntico. Los perfiles de la velocidad de los vientos, la temperatura y la humedad se miden en un mástil de 9 metros. En adición, se toman medidas de la temperatura del suelo en varios niveles, el flujo térmico del suelo y el nivel de agua subsuperficial.

En este estudio, el bosque *Pterocarpus* representa la situación 'vieja', donde las áreas costeras de Puerto Rico estaban cubiertas por bosques de tierra baja. El pastizal representa la situación actual, donde los bosques están siendo reemplazados por tierras para la agricultura.

Áreas de Estudio en El Yunque

Se ha instalado un mástil de 15 metros en el bosque de palmas a una altura de 915 metros, donde se mide la velocidad de los vientos, la temperatura y la humedad en 5 niveles. También se mide el balance de la energía de radiación, la dirección del viento, precipitación, presión atmosférica, las temperaturas del tallo de los árboles, las temperaturas del suelo y el flujo térmico del suelo. El método de correlación de flujo circular no es utilizado y tampoco se mide la concentración de bióxido de carbono.

Por último, se está utilizando una estación pequeña, que es básicamente portátil, para medir el gradiente elevacional en la temperatura, la velocidad y dirección del viento, humedad, radiación y precipitación. La estación fue colocada primero en el bosque nublado bajo (BNB) en Pico del Este (1025 m). Luego fue movida al bosque nublado alto (BNA) a 995 metros y al bosque Colorado, a unos 815 metros.

Trasfondo del Proyecto

La conversión de tierras puede influenciar directamente el clima de un área debido a ciertos cambios, incluyendo la radiación solar reflejada, la temperatura del suelo y la tasa de evaporación. Algunos modelos de simulación recientes han podido predecir reducciones significativas en la evaporación y caída de lluvia luego de convertir bosques de tierra baja en pastizales bajo condiciones tropicales húmedas continentales (Henserson-Sellers 1987, Lean y

Warrilow 1989, Shukla y otros 1989, Lean y Rowntree 1993). Hay pocos estudios similares sobre las condiciones marítimas tropicales. Sin embargo, hay evidencia de que, posiblemente como el resultado de los cambios en la cubierta de la tierra: (1) los periodos de sequía en las tierras bajas son más extensos y (2) el nivel prevaleciente de condensación de nubes ha aumentado. Ambos argumentos pueden afectar el rendimiento del agua de Puerto Rico, siendo el segundo el más importante para el rendimiento del agua en el bosque nublado de El Yunque.

Objetivos

El proyecto pretende lograr los siguientes objetivos:

1. La determinación y el modelado de los balances de energía, agua y bióxido de carbono en el bosque de tierra baja y pastizales bajo condiciones marítimas tropicales.
2. La medición y modelado de los componentes principales del balance de energía y agua en el bosque de palmas.
3. La determinación del gradiente de clima utilizando la data obtenida en 1 y 2, así como de otras estaciones meteorológicas a lo largo del gradiente.
4. El desarrollo de un nuevo modelo de circulación de meso-escala, el cual será utilizado para simular el impacto de (1) transformaciones a meso-escala de los bosques de tierra baja (lowland forest) en terrenos agrícolas y viceversa, y (2) el levantamiento de la base de nubes debido al calentamiento de la atmósfera, causado por el cambio en el uso del terreno tanto en el balance de agua regional como en las interacciones mar-tierra.

RESULTADOS PRELIMINARES

A continuación se presentarán algunos de los resultados relacionados al gradiente elevacional de la humedad relativa, la radiación solar y el viento. Las medidas fueron tomadas de las siguientes áreas de estudio:

1. El bosque nublado bajo (BNB) en Pico del Este (1025 m ASL) desde abril 29 hasta junio 17, 1997.
2. El bosque nublado alto (BNA) a lo largo de la Carr. 27 (995 m ASL) desde junio 19 hasta julio 28, 1997.
3. El bosque de palmas (Palma) a lo largo de la Carr. 27 a 915 m ASL (estación permanente). Información utilizada desde abril 29 hasta septiembre 16, 1997.
4. El bosque Colorado (Colorado) a lo largo de la Carr. 27 a 815 m ASL. Información utilizada desde julio 30 hasta septiembre 16, 1997.

Las cantidades aquí discutidas con medidas cada 30 segundos y procesadas a promedios de media hora, los cuales son grabados en disco. Cabe señalar que la información de 1, 2, y 4 cubre un espacio de aproximadamente 50 días, mientras que la información del bosque de palmas abarca más de 4 meses. Por lo tanto, las variaciones estacionales pueden interferir con las variaciones elevacionales. Sin embargo, las distribuciones de la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad y dirección de los vientos para el bosque de palmas eran lo suficientemente similares durante los diferentes meses como para procesar la información de la estación de palmas para todo el lapso de tiempo. (Ver figuras, versión inglés).

LITERATURA CITADA

- Henderson-Sellers, A. 1987. Effects of change in land use on climate in the humid tropics. En: Dickinson, R.E., ed. The geophisiology of Amazona. Wiley, New York; p. 463-493.
- Lean, J.; Rowntree, P.R. 1993. A GCM simulation of the impact of Amazonian deforestation on climate using an improved canopy representation. Q.J.R. Meteology Soc. 119: 509-530.
- Lean, J.; Warrilow, D.A. 1989. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. Nature. 342: 411-413.
- Shukla, J.; Nobre, C.; Sellers, P.J. 1989. Amazon deforestation and climatic change. Science. 247: 1322-1352.

RESPUESTA DE LA COMUNIDAD BÉNTICA A LA INTRODUCCIÓN DE BAMBÚ EN EL BOSQUE EXPERIMENTAL DE LUQUILLO

Paul J. O'Connor, A.P. Covich
Departamento de Pesca y Vida Silvestre
Universidad Estado de Colorado, Fort Collins, CO 80523

y
Fred N. Scatena
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical

INTRODUCCIÓN

Se han introducido varias especies de bambú para el control de la erosión en las carreteras cerca del cruce de los ríos en el Bosque Experimental de Luquillo (BEL) en Puerto Rico. Los bambús se han seguido extendiendo a lo largo de la zona ribereña por medio de la reproducción vegetativa y, más recientemente, por medio de semillas. La hojarasca de bambú es una fuente primaria de energía para la fauna béntica, pero el desecho del bambú introducido es potencialmente diferente a los insumos ribereños de la especie indígena de bambú en el bosque (*Bambusa* spp.). Nuestra hipótesis es que las hojas de bambú forman un substrato pobre para el crecimiento microbial y para ser utilizado posteriormente por los consumidores bénticos. Nuestros resultados destacan efectos bastante diferentes. La desintegración atribuible al condicionamiento microbial y químico fue medida en tres ríos de segundo orden en el BEL utilizando hojas de bambú y de otro invasor ribereño, pomarosa (*Syzygium jambos*). Las hojas se descompusieron a una rapidez muy similar (*Bambusa* spp. $k=0.018$ al día⁻¹, *S. jambos* $k=0.019$ al día⁻¹). Nuestros estudios de atrapado de camarones en charcas de arroyo con y sin bambú ribereño en varias cuencas hidrográficas revelaron aumentos significativos de organismos que se alimentan por filtros (*Atya* spp.) y depredadores (*Macrobrachium* spp.) en los charcos con bambú. Los experimentos de preferencia de hojas en charcas de poca profundidad, utilizando tanto hojas recién escogidas como microbialmente condicionadas, corroboraron los resultados de campo pero sugieren que, en adición a la calidad del alimento, la estructura influye en la

preferencia de los camarones por el substrato de bambú. En muchos ríos tropicales insulares, los procesadores de energía dominantes son crustáceos decápodos. Si los bambús introducidos continúan multipli-cándose en las áreas ribereñas, las interacciones en la red de alimentación entre grupos funcionales de camarones cambiarían rápidamente y tendrían implicaciones sobre la función total del río.

LA CAÍDA DE HOJAS DE BAMBÚ Y EL GRADO DE DESCOMPOSICIÓN DENTRO DE LOS RÍOS (1996-1997)

En el 1996 documentamos el "setting seed" de bambú en el BEL por primera vez. Hasta ese entonces se creía que el bambú solamente se reproducía vegetativamente. Actualmente se está monitoreando el progreso de estas plantas de semillero. Medimos el crecimiento vegetativo y encontramos que ciertas especies del género *Bambusa* producían retoños que podían crecer hasta 35 cm por día, alcanzando una altura final de 6-8 m. Pudimos determinar que, desde su introducción en los años '50, el bambú se había extendido 700 m río abajo a lo largo de Bisley 3.

Utilizando canastas de recogido de desperdicios, encontramos que las hojas de bambú caen en mayor masa y a una proporción más constante ($1.96 \text{ g} \cdot \text{m}^2$ al día⁻¹) (O'Connor, en preparación) que las hojas nativas en un dosel mixto del bosque ($1.54 \text{ g} \cdot \text{m}^2$ al día⁻¹) (Scatena y otros 1996). Las hojas de bambú se acumulaban en los charcos de arroyo y, por tal razón, se esperaba que su descomposición fuera relativamente lenta. Utilizando un material de malla fina para los bolsos de recopilación de

hojas y un modelo exponencial de descomposición para el análisis (Petersen y Cummins 1974), establecimos un constante de descomposición (k) químicamente y microbially inducido para las hojas de bambú ($=0.018$ al día⁻¹) y las de otras especies ribereñas exóticas, *S. jambos* o pomarosa ($k=0.019$ al día⁻¹). La diferencia entre la tasa de descomposición de las hojas de bambú (0.052 g* al día⁻¹) y *Syzigium* (0.050 g* al día⁻¹) no era tan significativa (valor-t combinado= 0.03 , $p=0.7660$), lo cual resulta sorprendente debido a que las hojas de ambas familias difieren marcadamente en su integridad estructural. Las tasas de descomposición eran 'rápidas' de acuerdo a los agrupamientos de descomposición de Petersen y Cummins (1974), los cuales sugieren que $k>0.010$ al día⁻¹ es 'rápido', $k=0.005-0.010$ al día⁻¹ es 'mediano' y $k<0.005$ al día⁻¹ es 'lento'.

Se llevaron a cabo estudios adicionales de descomposición en enero de 1997 para verificar si los métodos influenciaban las tasas de descomposición de hojas. Durante un periodo de 6 semanas, y sin utilizar los bolsos de malla para excluir a los invertebrados y los efectos del flujo, unos paquetes de hojas de 4 gramos de *S. jambos* tuvieron un k mucho más rápido: 0.036 al día⁻¹, mientras que el k de unos paquetes similares de bambú solo fue un poco más rápido: 0.020 al día⁻¹. El porcentaje perdido al día también fue mayor sin el bolso de malla para *Syzigium* (0.075 g* al día⁻¹), pero no así para el bambú (0.054 g* al día⁻¹). Estos últimos resultados se obtuvieron de la Quebrada Olga únicamente, mientras que los resultados del 1996 son los promedios de la Quebrada Olga y dos corrientes adicionales en Bisley.

DATOS SOBRE LOS ATRAPADOS EN ÁREAS DE ESTUDIO A LO LARGO DEL BEL (1996)

La conversión de una comunidad ribereña naturalmente diversa a un rodal mono-específico de bambú podría inhibir el desarrollo de una fauna detritívora invertebrada 'normal'. Debido a que el bambú es una hierba, se

esperaba que las hojas de bambú fueran una fuente de energía menos óptima que las hojas de las especies dicotiledóneas nativas.* Los pedazos de terreno (patches) con una diversidad de alimentos y hábitats mayormente se asocian con hojarasca mixta porque las hojas en varios estados de descomposición están disponibles simultáneamente para los organismos bénticos (John Lawton, pers. comm.). Establecimos la hipótesis de que la cantidad de camarones sería menor en los charcos de arroyo dominados por insumos de hoja de monocultivo de bambú.

Los resultados fueron lo contrario a nuestra hipótesis. Desde junio hasta agosto de 1996, estudiamos 24 charcas (12 charcas de prueba con bambú ribereño, 12 charcas de control, sin bambú) en diferentes elevaciones y drenajes dentro del BEL. En comparación con las charcas de control, las cuales estaban en corrientes con un tamaño, flujo, ensamblaje de especies y volumen similar, las charcas dominadas por bambú ribereño contenían una mayor cantidad de los tres grupos funcionales decápodos que se conocen en los ríos del BEL, siendo los aumentos promedios en las charcas de prueba de bambú bastante significativos para los organismos que se alimentan por filtros *Atya* spp. ($a=.10$, valor-F 3.71, $p=0.0862$) y los depredadores *Macrobrachium* spp. ($a=.10$, valor-F 8.31, $p=0.0280$).

MANIPULACIONES "IN-SITU" DE CHARCAS DE ARROYO, QUEBRADA OLGA (1997)

En junio y julio de 1997, probamos experimentalmente un patrón de aumento en la cantidad de camarones en las charcas con desechos de bambú mediante una serie de manipulaciones del hábitat de charcas de arroyo. Las densidades aumentaron para los dos grupos funcionales de camarones que muestreamos, aunque los efectos fueron más dramáticos en los organismos que se alimentan por filtros *Atya* que en los depredadores *Macrobrachium*. Covich y Crowl (1994) establecieron la presencia de señales químicas

y táctiles de *Atya* para la evitación de *Macrobrachium*. Por lo tanto, *Macrobrachium* es considerado un depredador, aunque muchos de los que capturamos eran pequeños y seguramente no obtenían su alimento por la depredación de *Atya* sino rascando la superficie. Aún no se ha llevado a cabo este análisis. Se encontraron diferencias en la densidad de camarones por tipo de hoja (cant. por m² de área superficial de la charca), aunque ambos tipos de hoja sufrieron una disminución y la diferencia quizás no sea significativa. Sin embargo, los aumentos en densidad para *Macrobrachium* fueron significativamente más altos en las charcas de bambú comparado con las charcas que recibían la mezcla nativa.

PREFERENCIA DE HOJAS DE ATYIIDAE Y PALEOMONIDAE EN CHARCAS DE POCA PROFUNDIDAD 1997

Tanto los resultados de los atrapados de 1996 como los patrones de insumo de desechos y las tasas de descomposición dentro de los ríos sugieren que, por lo menos inicialmente, las comunidades béntica responden mejor al efecto estructural de las hojas de bambú que a una calidad de alimento inherente de las hojas. Esto no es sorprendente, dada la naturaleza disturbada (torrentes frecuentes, diversas medidas de conexión entre las charcas, substratos dinámicos) del ambiente de las charcas de arroyo en las aguas de cabecera en Puerto Rico. En pruebas repetidas, los camarones escogieron los paquetes de hoja de bambú al darles a escoger entre bambú y el substrato de otras especies de hojas. Aunque estábamos conscientes de la estructura de *Atya* spp. por las observaciones hechas en el campo y los acuarios, establecimos la preferencia de substrato de *Atya* spp. por medio de una prueba de bambú vs. 'nada'. En un t-pareado, *Atya* seleccionó al bambú por encima de ningún substrato ($p < 0.0001^*$). Los resultados de los experimentos adicionales de preferencia de hojas son los siguientes (las preferencias definidas de cada prueba están en negrillas):

-Bambú vs. mezcla nativa (similar a las manipulaciones in-situ) $p = 0.0050^*$
(ambas 24 horas descompuestas y colonizadas en el río)

-Bambú (escogido verde) vs. Bambú (31 días de descomposición) $p < 0.0010^*$

-Bambú vs. *Cecropia schreberiana* (ambos 32 días de descomposición) $p = 0.0070^*$

-Bambú vs. tiras plásticas $p = 0.1018$

-Bambú vs. mezcla nativa (ambos escogidos verdes) $p = 0.2171$

-Bambú vs. mezcla nativa (ambos escogidos verdes) de *Atya* spp. $p = 0.0674$
pero con un *Macrobrachium* presente por cada "pool"

-Bambú vs. mezcla nativa de *Macrobrachium* solamente $p = 0.0062^*$

*denota un resultado significativo en $\alpha = 0.05$

*esperando actualmente los resultados de pruebas de lab. para algunas especies

LITERATURA CITADA

- Covich, A.P.; Crowl, T.A. 1994. Responses of a freshwater shrimp to chemical and tactile stimuli from a large decapod predator. *Journal of the North American Benthological Society*. 13(2): 291-298.
- Petersen, R.C.; Cummins, K.W. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*. 4: 343-368.
- Scatena, F.N.; Moya, S.; Estrada, C.; Chinea, J.D. 1996. The first 5 years in the reorganization of aboveground biomass and nutrient use following Hurricane Hugo in the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a): 424-440.

INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA A LARGO PLAZO EN LUQUILLO

*Robert B. Waide
Instituto para el Estudio de Ecosistemas Tropicales
Universidad de Puerto Rico
P.O. Box 363682
San Juan, Puerto Rico 00936*

La Investigación Ecológica a Largo Plazo en Luquillo (LTER, sus siglas en inglés) esté en su noveno año de operaciones y continúa enfocándose en su meta de integrar estudios sobre los efectos de los disturbios sobre el ambiente físico y la respuesta de la biota a éstos cambios en los gradientes ambientales. El programa de Luquillo sigue teniendo una productividad alta: más de 247 publicaciones (revisadas por compañeros), 3 libros y 5 artículos especiales han resultado de nuestras investigaciones. Además, 17 estudiantes han recibido doctorados y 23 han completado maestrías por investigaciones asociadas con el programa LTER.

Los 27 científicos financiados por el LTER de Luquillo, así como los 14 colaboradores financiados independientemente, continúan dedicándose a un tema de investigación en común, con un alto nivel de investigación interactiva. En adición a los estudios principales del LTER, se han iniciado una serie de investigaciones sobre el rol funcional de la biodiversidad en nuestro sistema y la ecología de los vectores de enfermedades emergentes. Gracias a tres concesiones de la NASA, hemos podido extender nuestros estudios sobre el uso del suelo y los efectos de los disturbios sobre los procesos del ecosistema a otras áreas en Puerto Rico. Todas estas iniciativas han recibido la colaboración de un excelente grupo de estudiantes graduados y subgraduados.

Las facilidades físicas del programa LTER serán ampliadas considerablemente durante los próximos años. Se obtendrá un equipo de transmisión de voz y datos, financiado por NSF, para proveer los servicios de e-mail e Internet a la Estación de Campo El Verde. También se construirá alojamiento para 18 investigadores

en el área de estudio. En adición, la Universidad de Puerto Rico está en proceso de adquirir un edificio cerca del Bosque Experimental de Luquillo (BEL) en el cual ofrecerá espacio de oficina y alojamiento para los investigadores de LTER. Se espera que las nuevas oficinas del Instituto para el Estudio de Ecosistemas Tropicales sean completadas en el recinto de Río Piedras para el año 2002.

LOGROS INVESTIGATIVOS

Las investigaciones en el área de estudio de LTER en Luquillo giran en torno a 5 trabajos de tesis o ponencias, los cuales proveen el marco de referencia para 15 experimentos o medidas en específico. A continuación discutiremos el progreso alcanzado con relación a estos 5 trabajos de tesis y ofreceremos ejemplos concisos de los resultados de las investigaciones.

1. Los patrones y procesos del ecosistema que están activos en El Verde y Bisley son continuos en escalas espaciales crecientes y, por lo tanto, al entender los atributos del sistema en estos lugares podemos hacer predicciones acertadas en otras áreas dentro del bosque tabonuco.

Se han llevado a cabo mediciones de campo relacionadas a esta tesis durante los últimos 3 años. Durante el pasado año hemos consolidado nuestro entendimiento acerca de los procesos ecológicos que operan en el bosque tabonuco en nuestras dos áreas principales de estudio en El Verde y Bisley. Como parte de este ejercicio, hemos creado un modelo integrado de los bosques de Luquillo basado en los procesos. Actualmente nos estamos concentrando en

los patrones de crecimiento a largo plazo del bosque, con la intención de que nuestros modelos sirvan para simular la recuperación luego de los disturbios. Este conocimiento nos ayudará a tratar de predecir las condiciones ecológicas en seis nuevas áreas de estudio dentro del bosque tabonuco durante el próximo año fiscal.

También se está examinando la hidrología de las zonas ribereñas y "hyporheic" para determinar el flujo neto de agua subterránea y la cantidad de agua subterránea que entra a la corriente. Al vincular la hidrología y la química del "stream reach", se podrá calcular el flujo total de nitrógeno proveniente de aguas subterráneas en la corriente. Según los hallazgos preliminares, con una entrada de agua subterránea de 5 a 10 por ciento y las concentraciones de NH_4^+ mayores de 2 ppm en muchas de las muestras de agua subterránea, tal parece que las zonas ribereñas y "hyporheic" no tienen un impacto significativo en la reducción del flujo total de nitrógeno entrando a la corriente.

2. En cualquier punto del espacio geográfico, la reacción a corto plazo a los disturbios y las trayectorias posteriores de recuperación están determinadas por: (1) la localización del punto a lo largo de gradientes abióticos (físico), (2) las condiciones abióticas y bióticas al momento del disturbio (histórico) y (3) las condiciones bióticas subsiguientes/consecuentes al disturbio (sucesivo). La importancia relativa de estos tres factores dependerá de cuán severo sea el disturbio.

El trabajo de esta tesis abarca la mayor parte de nuestros estudios a largo plazo sobre la recuperación luego del huracán Hugo. El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de E.U. ha llevado a cabo estudios anteriormente donde examinan los patrones de regeneración del bosque comenzando 11 años después de que un huracán afectara al BEL en el 1932. Se está estudiando intensamente la etapa temprana

y crítica de sucesión con el propósito de proveer la información necesaria para reconstruir un ciclo completo de huracán. Se está estudiando la recuperación del bosque en la Parcela de Recuperación de Huracán de 16-ha, la cual fue muestreada por segunda vez de 1996 a 1997. La entrada de datos y el análisis serán completados a principios de 1998.

3. Los disturbios antropogénicos (por ej. agricultura, producción de carbón, cosecha de madera, etc.) tienen diferentes patrones espaciales, intensidades y trayectorias de recuperación que los disturbios naturales (huracanes, deslizamientos de tierra, espacios dejados por la caída de árboles).

Esta proposición examina la idea de que los disturbios antropogénicos son cualitativamente diferentes a los disturbios naturales. Si esto es cierto, entonces los disturbios antropogénicos pueden causar una combinación de características ambientales únicas que van más allá de los extremos que normalmente experimentan los organismos del bosque. Este estudio pretende determinar si los mecanismos de regeneración que se desarrollan como respuestas evolucionarias a los disturbios naturales tienen efectividad luego de los disturbios antropogénicos.

4. El bosque tabonuco contiene plantas y especies de animales (o grupos de especies) que alteran los procesos críticos del ecosistema y los senderos de sucesión al modificar los atributos del espacio ecológico a su alrededor.

Esta tesis sugiere que ciertas especies importantes ejercen un control significativo sobre las propiedades del ecosistema al influenciar la sucesión en puntos claves. La presencia o ausencia de estas especies determina las trayectorias de sucesión y las tasas de recuperación. Un corolario de esta idea es que, por lo menos para estas especies importantes, no existe una redundancia en la comunidad ecológica.

Cecropia schreberiana Miq. es una de las especies de árboles de las Montañas de Luquillo en Puerto Rico debido a su abundancia y distinción y su vínculo con las dinámicas post-huracanes en los bosques de Luquillo. *C. schreberiana* es un árbol pionero, cuyas dinámicas de población reflejan dinámicas "landscape-level" de disturbios y recuperación forestal. Esta especie también juega un papel principal en el almacenaje de nutrientes y la sucesión post-disturbio. Al ser un árbol pionero, *C. schreberiana* por lo regular coloniza las áreas de deslizamientos de tierra, los espacios dejados por la caída de árboles y los alrededores de los arroyos, pero esto no es suficiente para explicar la gran abundancia de *C. schreberiana* en los bosques de Luquillo. Solo los huracanes pueden causar disturbios en un área suficientemente grande y lo suficientemente a menudo como para promover el grado de regeneración que mantiene a *C. schreberiana* como una de las especies de árbol más importante en estos bosques.

5. El régimen de disturbios que ha prevalecido en el bosque tabonuco a lo largo del tiempo evolucionario ha llevado al desarrollo de una comunidad de plantas cuyos miembros tienen características ecológicas variadas y complementarias.

Esta proposición pretende comprender la influencia de los disturbios sobre la riqueza de las especies en los bosques tropicales y en otros bosques. En un ambiente que sufre disturbios frecuentemente, las plantas se ven enfrentadas con una gran cantidad de condiciones ambientales y deben desarrollar estrategias de historia de vida "that tradeoff adaptation to certain conditions at the expense flexibility". Estos "tradeoffs" deberían tener como resultado una comunidad de especies con adaptaciones diferentes y complementarias. Se están estudiando las características de la historia de vida de 14 especies de planta con el propósito de examinar esta idea.

Manejo de Información

Las metas originales de los esfuerzos de manejo de información en el LTER de Luquillo eran identificar conjuntos de datos y desarrollar la documentación acompañante. Hasta el momento hemos catalogado 95 conjuntos de datos de LTER y la mayoría están documentados apropiadamente. Un Comité de Manejo de Información Ad Hoc está llevando a cabo una revisión caso por caso de la metadata para confirmar que cada conjunto de datos esté descrito adecuadamente. Esta revisión será completada en febrero de 1998. En adición a los conjuntos de datos del LTER, hemos identificado y archivado 93 conjuntos de datos del Bosque Experimental de Luquillo que son relevantes para el trabajo de LTER. Muchos de estos conjuntos de datos fueron abandonados al desaparecer los recursos de financiamiento. Nuestros tres administradores de información rutinariamente entran 16 conjuntos de datos en discos magnéticos para el uso de los investigadores de LTER y manipulan otros 16 conjuntos de datos para que nuestros científicos los tengan fácilmente disponibles.

Hemos hecho un esfuerzo considerable durante los últimos 18 meses para que la información esté disponible a través de nuestro web site. Actualmente, 36 de nuestros conjuntos de datos están disponibles en el Internet. Pensamos añadir un grupo selecto de conjuntos a nuestra página en el Internet durante los próximos tres años. Nuestra meta es tener disponible los conjuntos de datos más solicitados antes de que termine el ciclo de financiamiento actual. También seguiremos añadiendo más conjuntos de datos a nuestro catálogo y mantendremos el nivel y la calidad de los servicios que le ofrecemos a nuestros investigadores.

Actividades de "Outreach"

Trece estudiantes subgraduados provenientes de diferentes estados (9 estudiantes) y de Puerto Rico (4 estudiantes) han participado de un programa de

investigación de ecología tropical en la Estación de Campo El Verde durante los últimos tres años. El programa está bajo la dirección de M.R. Willig y financiado por una concesión hecha a Texas Tech University por el Howard Hughes Medical Institution. La donación provee un estipendio para cada estudiante durante todo el verano y también cubre los gastos de alojamiento, viaje, equipo de investigación y materiales. Los subgraduados se reúnen durante 14 días antes de comenzar el trabajo de campo en Puerto Rico para participar de orientaciones, conferencias de ecología, conferencias de estadísticas y talleres. Luego, cada estudiante participa de proyectos de investigación, colectivos e individuales, sobre la población y la ecología comunitaria de los invertebrados en el área de estudio de LTER en Luquillo. Además de lograr la meta de exponer a los subgraduados unas experiencias de investigación significativas, el programa está

diseñado para ofrecerle una experiencia cultural a los estudiantes hispanos en los E.U. en un entorno (Puerto Rico) donde ellos forman parte del grupo étnico mayoritario, así como exponer a los estudiantes hispanos de Puerto Rico a una experiencia académica diferente.

Actividades "Cross-Site" e Internacionales

Las comparaciones y las síntesis "**cross-site**" llevadas a cabo por los científicos asociados al programa LTER tienen una variedad de formas. Las comparaciones hechas con áreas de estudio individuales y múltiples dentro de la Red de LTER forman una parte esencial de nuestro programa de investigación. Pero debido a la localización de Puerto Rico y la afinidad de su flora y fauna para los trópicos, muchos de nuestros estudios "**inter-site**" son de naturaleza internacional.

DINÁMICAS FORESTALES Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE LAS PLANTACIONES DE MANGLE EN EL ESTUARIO DEL RÍO SAN JUAN, VENEZUELA

Robert Twilley

Departamento de Biología, Universidad de Southwestern Louisiana

y

Ernesto Medina

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Venezuela, Caracas 1020-A

INTRODUCCIÓN

Los mangles son uno de los rasgos dominantes de los ecosistemas costeros en los trópicos y proveen el alimento y el hábitat a una variedad de niveles tróficos. También influyen las concentraciones de nutrientes y sedimentos en las aguas estuarinas (Lugo y Snedaker 1974). En muchas partes del trópico también son una fuente importante de madera para producir carbón, postes para cercados y construcción. Twilley (1995) propuso que la función ecológica específica de los ecosistemas de los mangles puede estar relacionada a los entornos ambientales o las funciones forzadas del sistema. Basándose en esta hipótesis, la combinación de las energías geofísicas con la geomorfología de la zona costera es importante para establecer los patrones básicos de la estructura y función de los mangles. Se cree que la ecología funcional de los mangles, tal como la reinyección de nutrientes, sucesión, productividad y exportación, va a diferir de acuerdo a la categoría ecológica dentro de un entorno geomorfológico específico. Con el fin de probar la hipótesis, es necesario tener estudios comparativos a largo plazo sobre la función de los mangles en diferentes estuarios tropicales dominados por mangles. Por ejemplo, se ha demostrado que la productividad de desechos, la sedimentación y la exportación de carbono orgánico responden a las diferentes energías geofísicas de una región costera (Twilley 1985, Twilley y otros 1986, Twilley 1988, Lynch y otros 1989). Aún no se comprende muy bien cómo los patrones de sucesión o regeneración forestal pueden ser explicados de acuerdo a este sistema de clasificación jerárquica desarrollado por Twilley (1995). Este estudio

sobre los mangles en el estuario del Río San Juan provee una oportunidad única de medir directamente el desarrollo de bosques de mangles controlados en ambientes estuarinos.

La sucesión en los mangles generalmente ha sido equiparada con la zonificación (Davis 1940), en donde las especies "pioneras" se encontraban en las zonas marginales y los cambios de vegetación encontrados tierra adentro "recapitulaban" la secuencia de sucesión en las comunidades terrestres. La zonificación en las comunidades de los mangles ha sido responsabilizada por varios factores biológicos, incluyendo la tolerancia de salinidad de especies individuales (por ej., Snedaker 1982), los patrones de dispersión de semillas que resultan de diferentes tamaños de "propagules" en los mangles (Rabinowitz 1978), la depredación diferencial de cangrejos "grapsid" (Smith 1987) y la competencia interespecífica (Ball 1980). Snedaker (1982) propuso el establecimiento de zonas monoespecíficas estables donde cada especie está mejor adaptada para florecer gracias a la interacción entre las tolerancias fisiológicas de las especies y las condiciones ambientales. La consideración de los cambios en las comunidades de los mangles en un patrón estrictamente espacial en lugar de uno temporal ha contribuido al pobre entendimiento que hay sobre la sucesión en estos humedales boscosos.

La estructura de los bosques de mangle está influenciada por una combinación de factores geomorfológicos, de clima y ecológicos que determinan los patrones de zonificación a lo largo de la orilla (Lugo 1980). La trayectoria de las dinámicas de vegetación está restringida por

las características geomorfológicas y climáticas del medio ambiente costero y es modificada por las interacciones ecológicas dentro del bosque de mangle. Por lo tanto, se pueden observar patrones generales dentro de ciertas regiones geográficas, pero a nivel global hay patrones diversos basado en las diferentes formas de terreno que existen en las líneas costeras tropicales. Además, los cambios en la composición ambiental causados por sequías, hundimientos o ciclones tropicales pueden interrumpir los patrones en el desarrollo de vegetación. Pocas veces se tienen registros a largo plazo que permitan distinguir estos patrones en los mangles, y tampoco existen modelos de sucesión que puedan ser aplicados fuera de límites geográficos específicos. Para poder distinguir si los patrones espaciales en la zonificación de mangles indican cambios temporales en la estructura hay que establecer parcelas a largo plazo donde se tomen mediciones repetitivas a través del tiempo. Las plantaciones de mangle a lo largo del estuario del Río San Juan nos ofrecen la oportunidad de investigar el desarrollo de la estructura de los bosques de mangle en un estuario por los pasados 20 años.

Área y Métodos de Estudio

Las áreas de investigación están localizadas a lo largo del estuario del Río San Juan, en la Unidad Norte de bosques de mangle del Bosque de Reserva Guarapiche, Estado de Monagas, Venezuela. Hace aproximadamente 20 años, unas parcelas de mangle que medían 50 m a lo largo de la orilla y 300 m tierra adentro fueron divididas en grupos de parcelas en diferentes áreas a lo largo del estuario del Río San Juan. Cada área de estudio contiene parcelas bien definidas que estén esparcidas con parcelas naturales (sin cosechar) del mismo tamaño (fig. 1). Algunas de las áreas de estudio están localizadas cerca de la desembocadura del canal La Brea y fueron cosechadas en 1973 (B7, 10 06.850 N, 62 37.092 O). Otra área de estudio está cerca de la desembocadura del estuario y fue cosechada en 1981 (B9, 10 08.243 N, 62 37.439 O). Todas las parcelas experimentales estaban

hacia el lado oeste del río. Hemos estado trabajando en un estudio de dos fases: la primera fase consiste en analizar la información recopilada durante los últimos 20 años para hacer un estimado de los patrones de regeneración. La segunda fase del estudio consiste en restablecer las parcelas en algunas de las áreas de estudio anteriores para intentar establecer transectos de vegetación del bosque de mangle a largo plazo. Se midió la estructura vegetativa y se analizaron las condiciones del suelo en un grupo selecto de parcelas y árboles para comprender los mecanismos asociados a los patrones de cambio en la estructura forestal.

Las áreas de estudio de mangle a lo largo del gradiente de salinidad del estuario del Río San Juan fueron visitadas durante un viaje de inspección de 14 días en mayo de 1996 y en un segundo viaje en mayo de 1997. Establecimos transectos de vegetación a largo plazo en dos parcelas de regeneración y dos parcelas naturales, para un total de cuatro parcelas para cada área de estudio (fig. 1). La estructura forestal fue determinada a lo largo de transectos perpendiculares a la orilla utilizando el método "point-quarter". Se establecieron puntos a un intervalo de 12.5 m a lo largo de un transectos de 250 m en el centro de cada parcela para medir la composición de especies, la densidad y el diámetro a la altura del pecho (sobre la raíz más alta) de los árboles más cercanos al punto central en cuatro cuadrantes. En cada cuadrante se marcó la distancia y las dimensiones de los árboles en las dos categorías de tamaño (1) aquellos <10 cm del diámetro a la altura del pecho y (2) aquellos >10 cm del diámetro a la altura del pecho. Cada árbol fue rotulado con marcador de aluminio para analizar su crecimiento posteriormente (para un total de aproximadamente 600 árboles).

Se midió la salinidad y el sulfuro del agua de pozo a una profundidad de 15 cm en cada uno de los puntos de 12.5 m a lo largo de cada transectos en cada parcela. Además, se tomaron muestras a intervalos de 25 m a lo largo de transectos en el borde de cada parcela, desde la orilla hasta 250 m tierra adentro. Se utilizó un

analizador portátil de Labcomp Instruments, modelo SCT, para determinar la salinidad. Las concentraciones de sulfuro en el agua de pozo fueron analizadas con un electrodo detector de sulfuro LAZAR Modelo IS-156 (Hargis y Twilley 1994a). Se midió el potencial de redox (Eh) en el campo con electrodos de platino y de referencia, utilizando un contador ORP de Cole Palmer (Modelo 5938-10) (Hargis y Twilley 1994b). Los valores para la densidad aparente del suelo se basaron en el peso seco de un volumen conocido de suelo para cada sección de muestra. El contenido orgánico del suelo se determinó sometiendo cada muestra a una combustión de 450 °C durante 4 horas. El total de carbono y nitrógeno de cada muestra se determinó mediante un analizador elemental CE Elantech. Las muestras de carbono y nitrógeno se sometieron a una combustión de 950 °C, convirtiéndose en bióxido de carbono y gas de nitrógeno respectivamente. La cantidad total de fosfato se determinó en muestras de suelo descompuestas por la digestión de ácido clorhídrico y nítrico. El contenido de fosfato inorgánico se determinó mediante un autoanalizador ALPKEM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución de categoría de tamaño de los árboles en cada área de estudio (B7 y B9) muestra patrones de regeneración forestal en respuesta a las cosechas de 1973 y 1981 respectivamente (fig. 2). En B7, los árboles más grandes tenían un tamaño de 35 y 25 cm de "d.a.p." en P2 y P4 respectivamente, en comparación con los árboles de las parcelas naturales, los cuales eran de >45 cm de "d.a.p.". En el área de estudio B9, los árboles alcanzaban tamaños de 30 y 25 cm de "d.a.p." en P8 y P10 respectivamente. La distribución de categoría de tamaño de los árboles en las parcelas naturales de B9 mostraban una densidad más alta de árboles de tamaño pequeño que B7 (fig. 3). La frecuencia de árboles en cada categoría de tamaño también indica grados de regeneración forestal en cada una de las áreas de estudio (figs. 2 y 3). En las parcelas de 23 años hubo una

disminución casi lineal en la cantidad de árboles con un aumento en la categoría de tamaño (B7, fig. 2), en comparación con una frecuencia mucho más alta de árboles en la categoría de tamaño más pequeña encontrados en las parcelas de 15 años (fig. 3). Las parcelas naturales en B7 tenían alrededor de 10 árboles/0.1 ha en todas las categorías de tamaño de hasta 30 cm de "d.a.p.", con menos árboles en cada una de las categorías de tamaño más grandes. Sin embargo, cerca de la desembocadura del estuario en B9 había una cantidad mayor de árboles de una categoría de tamaño más pequeña, de hasta 20 cm, en comparación con los árboles más grandes en ambas parcelas naturales. En B7, todas las categorías de tamaño tanto en las parcelas de regeneración como en las naturales estaban dominadas por *Rhizophora*. Sin embargo, se observó una cantidad mayor de *Avicennia* en las parcelas de regeneración que en las naturales. Esto sugiere que el reclutamiento inicial de *Avicennia* en esta área de estudio durante las primeras etapas de regeneración fue excluido por *Rhizophora* mientras el bosque alcanzaba las últimas etapas de desarrollo. En B9, *Rhizophora* también dominaba todas las categorías de tamaño en las parcelas de regeneración y las naturales, aunque había una frecuencia mucho más alta de *Laguncularia* en las primeras etapas de regeneración en comparación con B7 (fig. 3). Se observó muy poca cantidad de *Laguncularia* en las parcelas naturales de B9. La cantidad de *Avicennia* observadas en las categorías de tamaño más pequeñas en las parcelas de regeneración de B9 estaban ausentes en las parcelas naturales, según observado en B7.

Las mediciones del desarrollo forestal luego de 23 y 15 años de tala rasa mostraban que cerca de un 75 y 50 por ciento, respectivamente, de la estructura forestal a lo largo del estuario del Río San Juan se regeneró (fig. 4). El análisis del área basal se separó en dos categorías de tamaño y la tasa de regeneración descrita a continuación está basada en árboles >10 cm de "d.a.p." También se compararon los cambios en la estructura forestal entre las regiones de franja (0 a 125 m tierra adentro) y de la cuenca (125 a

250 m tierra adentro) de los transectos. En el bosque de franja de B7 (23 años), el área basal total tenía un promedio de alrededor de 75 por ciento de las parcelas naturales. *Avicennia* dominaba el área basal de las parcelas de regeneración y *Rhizophora* dominaba en las parcelas naturales (fig. 4). Había menos diferencia entre las parcelas de regeneración y naturales en la zona de cuenca y los valores eran menores que los observados en la zona de franja. Aunque *Avicennia* también dominaba las parcelas de regeneración en esta zona, *Rhizophora* dominaba en la parcela natural P3, pero no tanto en la otra parcela natural P5. Las diferencias en la dominancia de plantas de las zonas de cuenca guardaban relación con una salinidad del suelo más alta en las localizaciones tierra adentro de esta parcela (no se muestran los datos). Los patrones de regeneración forestal en las zonas de franja y de cuenca de B9 eran similares, con aproximadamente 50 por ciento de la estructura forestal en las parcelas naturales. Según se observó en B7, la estructura forestal en los bosques naturales de la zona de cuenca era mucho menor que en la zona de franja. Una diferencia marcada entre las parcelas de regeneración de B9 y B7 era la contribución significativa de *Laguncularia* a la estructura forestal total. Sin embargo, *Laguncularia* no era evidente en el bosque natural, el cual estaba casi completamente dominado por *Rhizophora* en las zonas de franja y tierra adentro (fig. 4).

Se calculó la biomasa de cada parcela utilizando las dimensiones forestales medidas bajo este estudio y las ecuaciones de biomasa de Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984). La biomasa en las parcelas naturales de B7 y B9 (incluyendo los árboles de ambas categorías de tamaño) era consistentemente cerca de 300 t/ha (fig. 5). La biomasa más alta registrada en un bosque de mangle es de aproximadamente 450 t/ha (Twilley y otros 1992) y disminuye con la latitud. En este estudio, la biomasa del mangle cae bajo el patrón global general para la latitud de las áreas de estudio. Las parcelas de regeneración de 23 años tenían niveles de biomasa de aproximadamente el 50 por ciento

de las parcelas naturales en B7 (promedio de aproximadamente 150 t/ha), comparado con los niveles de biomasa en el área de estudio de 15 años en B9, los cuales eran de aproximadamente el 23 por ciento de las parcelas naturales.

El análisis temporal de las dimensiones forestales en estas áreas también se está interpretando con un modelo de sucesión de mangle FORMAN, el cual ha sido desarrollado en la Universidad de Southern Louisiana (Chen y Twilley, en imprenta). Este modelo simula los cambios que ocurren con el tiempo en la composición de especies y la biomasa de los bosques de mangle utilizando un híbrido de los modelos individuales de Shugart y West (1977) y modelos de ecosistema del flujo de nutrientes y carbono. Los modelos de sucesión fueron desarrollados y parametrizados utilizando mangles en ecosistemas de lagunas y validados para otras áreas de mangle en el sudoeste de Florida. La parametrización de la respuesta del mangle a factores básicos (luz, salinidad, disponibilidad relativa de nutrientes, y temperatura) utilizada en el modelo ecológico está basada en las generalidades de la información publicada. El estudio de las plantaciones de mangle en el estuario del Río San Juan nos ayudará a probar la calidad de esta parametrización, particularmente en lo que respecta a la disponibilidad de nutrientes, al medir las tasas de crecimiento de los árboles en diferentes estados de fertilidad del suelo. Utilizamos pruebas de sensibilidad para producir una conducta genérica del modelo de sucesión al variar las condiciones de los nutrientes y la salinidad en el suelo. Los estimados de biomasa en los bosques maduros del estuario del Río San Juan nos permitirán probar el comportamiento modelo al comparar la biomasa observada con la proyectada en situaciones donde hay baja salinidad y alta cantidad de nutrientes. Esta será la primera prueba que se hace del modelo en un entorno geomorfológico diferente al sistema del lago, para el cual fue desarrollado el modelo. Este proyecto de investigación nos ofrece una excelente oportunidad de probar la utilidad de los modelos de sucesión de mangles para

simular las dimensiones forestales en los trópicos de baja latitud. Esto resulta muy importante para la aplicación de las proyecciones hechas de estos modelos ecológicos para abordar los asuntos relacionados al manejo de humedales boscosos costeros.

El análisis completo de la vegetación y los suelos, así como los resultados del modelado de simulación de la silvicultura de mangles a lo largo del estuario del Río San Juan está actualmente bajo preparación y será sometido como una edición especial de la publicación "Forest Ecology and Management". Esta edición especial también incluirá descripciones de la hidrografía, la distribución del humedal y del suelo y los indicadores fisiológicos del estrés en las plantas a lo largo del límite entero del estuario. Se llevó a cabo un taller en el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del 30 de junio al 3 de julio de 1997 para discutir los preparativos de unos manuscritos para esa edición especial y para desarrollar una síntesis de la información existente sobre el estudio de la silvicultura del mangle y la ecología del humedal en el estuario del Río San Juan.

LITERATURA CITADA

- Ball, M.C. 1980. Patterns of secondary succession in a mangrove forest of southern Florida. *Oecologia*. 44: 226-235.
- Chen, R.; Twilley, R.R. [En imprenta]. A gap dynamic model of mangrove forest development along gradients of soil nutrient resource and salt stress. *Journal of Ecology*.
- Cintrón, G.; Schaeffer-Novelli, Y. 1984. Características y desarrollo estructural de los manglares de Norte y Sur América. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 25: 4-15.
- Davis, J.H., Jr. 1940. The ecology and geologic role of mangroves in Florida. The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists. 26: 307-425.
- Hargis, T.G.; Twilley, R.R. 1994a. Improved coring device for measuring soil bulk density in a Louisiana Deltaic Marsh. *Journal of Sedimentary Research*. A64: 681-683.
- Hargis, T.G.; Twilley, R.R. 1994b. Multi-Depth Probes for Measuring Oxidation-Reduction (Redox) Potential in Wetland Soils. *Journal of Sedimentary Research*. A64: 684-685.
- Lugo, A. 1980. Mangrove ecosystems: successional or steady state? *Biotropica*. 12: 65-72.
- Lugo, A.E.; Snedaker, S.C. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 5: 39-64.
- Lynch, J.C.; Meriwether, J.R.; McKee, B.A.; Vera-Herrera, F.; Twilley, R.R. 1989. Recent accretion in mangrove ecosystems based on ^{137}Cs and ^{210}Pb . *Estuaries*. 12: 284-299.
- Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedlings in Panama, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography*. 5: 113-133.
- Shugart, H.H.; West, D.C. 1977. Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. *Journal of Environmental Management*. 5: 161-179.
- Smith, T.J., III. 1987. Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology*. 68: 266-273.
- Snedaker, S. 1982. Mangrove species zonation: why? En: D. Send K. Rajpurohit, eds. *Tasks for Vegetation Science*, Vol. 2. Junk, The Hague. 111-125.
- Twilley, R.R. 1985. The exchange of organic carbon in basin mangrove forests in a southwest Florida estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 20: 543-557.

Twilley, R.R.; Lugo, A.E.; Patterson-Zucca, C. 1986. Production, standing crop, and decomposition of litter in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology*. 67: 670-683.

Twilley, R.R. 1988. Coupling of mangroves to the productivity of estuarine and coastal waters. En: Jansson, B.O., ed. *Coastal-Offshore Ecosystem Interactions*. Springer-Verlag, Germany. 155-180.

Twilley, R.R.; Chen, R.H.; Hargis, T. 1992. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*. 64: 265-288.

Twilley, R.R. 1995. Energy signature and properties of mangrove ecosystems. En: Hall, C., ed. *Maximum power*. University of Colorado Press. ____.

1996-97
Annual Letter
PUBLICATIONS
International Institute of Tropical Forestry
USDA Forest Service
PO Box 25000
Río Piedras, PR 00928-5000

To obtain copies of publications indicated as available for distribution, please return this request form to the address above with your circled publications.

Para obtener copias de las publicaciones indicadas como disponibles para distribución, favor de circular el número deseado y devolver esta forma a la dirección arriba indicada.

001	016	031	046	061	076	091	106	121	136
002	017	032	047	062	077	092	107	122	137
003	018	033	048	063	078	093	108	123	138
004	019	034	049	064	079	094	109	124	139
005	020	035	050	065	080	095	110	125	140
006	021	036	051	066	081	096	111	126	141
007	022	037	052	067	082	097	112	127	142
008	023	038	053	068	083	098	113	128	143
009	024	039	054	069	084	099	114	129	144
010	025	040	055	070	085	100	115	130	145
011	026	041	056	071	086	101	116	131	146
012	027	042	057	072	087	102	117	132	147
013	028	043	058	073	088	103	118	133	148
014	029	044	059	074	089	104	119	134	149
015	030	045	060	075	090	105	120	135	150

Our regulations require that our mailing list be updated annually. IF ANY CORRECTION OF YOUR ADDRESS IS NECESSARY, PLEASE INDICATED BOTH YOUR CURRENT AND PREVIOUS ADDRESS AS OUR ADDRESSES ARE FILED BY GEOGRAPHICAL LOCATION.

Nuestros reglamentos requieren que la lista de distribución sea revisada anualmente. DE SER NECESARIO CORREGIR SU DIRECCIÓN, FAVOR DE INDICARNOS TANTO SU DIRECCIÓN ACTUAL COMO LA ANTERIOR DEBIDO A QUE NUESTRAS DIRECCIONES SON ARCHIVADAS POR LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

*IF YOU ARE NOT NOW ON OUR MAILING LIST BUT WISH TO BE PLACED ON IT, WRITE YOUR ADDRESS BELOW AND CIRCLE "NEW".

*SI ACTUALMENTE NO SE ENCUENTRA EN NUESTRA LISTA DE DISTRIBUCIÓN PERO DESEA ESTARLO, ESCRIBA SU DIRECCIÓN Y CIRCULE "NEW".

New or Current Address	Previous Address
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

Reprints available for distribution (continued).

151	166	181	196	211	226	241	256
152	167	182	197	212	227	242	
153	168	183	198	213	228	243	
154	169	184	199	214	229	244	
155	170	185	200	215	230	245	
156	171	186	201	216	231	246	
157	172	187	202	217	232	247	
158	173	188	203	218	233	248	
159	174	189	204	219	234	249	
160	175	190	205	220	235	250	
161	176	191	206	221	236	251	
162	177	192	207	222	237	252	
163	178	193	208	223	238	253	
164	179	194	209	224	239	254	
165	180	195	210	225	240	255	